

3100000011351



# STUDI MENGENAI HASIL-HASIL PENELITIAN PROPAGASI Ka-BAND DENGAN OLYMPUS

## TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN ITS	
No. Prin.	25-2-80
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	2894

Disusun oleh :

I PUTU EKA PUTRA GIRI

2293 100 054

RSE  
621 384 156  
Gir  
5-1  
1998



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1998

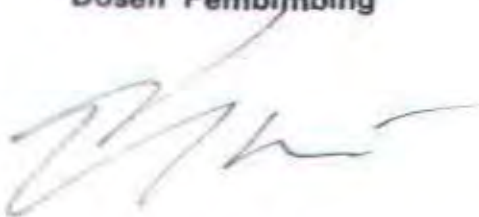
**STUDI MENGENAI  
HASIL-HASIL PENELITIAN PROPAGASI  
Ka-BAND DENGAN OLYMPUS**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
S u r a b a y a**

**Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing**



**Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.**

**NIP. 130 520 753**

**S U R A B A Y A  
Agustus, 1998**

## ABSTRAK

*Pemakaian frekuensi Ka-band dapat meningkatkan kapasitas kanal, sesuai dengan bandwidth yang lebar. Tetapi hal ini menyebabkan redaman yang terjadi akan semakin besar sehingga akan mengganggu sistem komunikasi. Berkembang pesatnya layanan satelit yang memakai band frekuensi tinggi seperti Ka-band (downlink 20 GHz dan uplink 30 GHz) telah memberikan pengertian pentingnya memperkirakan besarnya redaman propagasi pada link komunikasi satelit. Penelitian tentang propagasi Ka-band telah dilakukan oleh ESA (European Space Agency) dengan menggunakan satelit Olympus yang diluncurkan dengan sukses dari roket Ariane di Kourou, Guyana Prancis 12 Juli 1989.*

*Pada tugas akhir ini disajikan prediksi dan analisa perhitungan untuk menghitung besar redaman gas, awan, scintilasi troposfer, lapisan melting dan hujan berdasarkan dari data hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band pada perambatan sepanjang lintasan bumi satelit. Metode untuk menghitung redaman hujan yaitu menggunakan model DAH dan ITU-R.*

*Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk daerah Kirkkonummi yang mempunyai curah hujan yang lebih besar dari daerah Darmstadt, dengan availability 99,99%, redaman hujan metode ITU-R pada frekuensi 19,77 GHz berharga 17,87 dB dan pada frekuensi 29,65 GHz berharga 37,54 dB. Sedangkan redaman hujan metode DAH dengan availability 99,99% pada frekuensi 19,77 GHz berharga 21,42 dB dan pada frekuensi 29,65 GHz berharga 40,67 dB. Redaman awan mempunyai pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan redaman yang diakibatkan oleh hujan. Redaman yang diakibatkan oleh scintilasi troposfer, lapisan melting dan gas mempunyai pengaruh yang sangat kecil.*



## KATA PENGANTAR

---

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan bimbingannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

### **STUDI MENGENAI HASIL-HASIL PENELITIAN PROPAGASI Ka-BAND DENGAN OLYMPUS**

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akhirnya penulis berharap semoga buku Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Agustus 1998

Penulis



## UCAPAN TERIMA KASIH

---

Dengan segenap kesungguhan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih atas segala bimbingan, bantuan dan dukungan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Hang Suharto, M.Sc, selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. M. Aries Purnomo, selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.
3. Bapak Ir. Teguh Yuwono, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Dr. Ir. Moch. Salehudin, M.Eng.Sc, selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi, B-301.
5. Bapak Ir. Zainal Alim, selaku Dosen Wali.
6. Bapak, Ibu dan saudara-saudaraku tersayang yang selalu memberikan dorongan moril dan materiil sehingga bisa terselesainya Tugas Akhir ini.
7. Pak Gamantyo, Pak Suwadi terima kasih atas semua bimbingannya.
8. Teman-teman penghuni Lab. B-301, Ibud, Khamid, Muluk, Arie, Cholis, Thomas, Yasin, Dofier, Miko, Astina, Eko, Alit, Sutarwa, Ali dan teman-teman senasib lainnya yang tak dapat disebutkan satu per satu.
9. Teman-teman "Mul-Ut VIII-16", Dodik, Gusde dan Gus Adnyana yang telah menemani dalam penulisan Tugas Akhir ini.

10. Mas Hendry dan para karyawan yang tidak mungkin disebutkan satu per satu, yang telah banyak membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini.

Akhirnya dengan kesungguhan hati penulis berharap agar Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan rahmat-Nya, serta membalas segala budi baik yang telah diberikan.

Surabaya, Agustus 1998

## DAFTAR ISI

---

BAB	halaman
JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 I
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. PERMASALAHAN.....	3
1.3. PEMBATAHAN MASALAH.....	3
1.4. METODOLOGI.....	3
1.5. SISTEMATIKA PEMBAHASAN.....	4
1.6. TUJUAN.....	5
1.7. RELEVANSI.....	5



BAB II TEORI PENUNJANG .....	7
2.1. UMUM.....	7
2.2. FAKTOR-FAKTOR PROPAGASI .....	8
2.2.1. REDAMAN GAS.....	9
2.2.1.1. REDAMAN OKSIGEN .....	11
2.2.1.2. REDAMAN UAP AIR.....	13
2.2.2. REDAMAN AWAN .....	15
2.2.3. SCINTILASI TROPOSFIR .....	20
2.2.4. FADING SUDUT KECIL (LOW ANGLE FADING).....	23
2.2.5. REDAMAN LAPISAN MELTING.....	24
2.2.6. REDAMAN HUJAN.....	25
2.2.6.1. TEKNIK PENGUKURAN HUJAN.....	25
2.2.6.2. REDAMAN SPESIFIK .....	27
2.2.6.3. REDAMAN PADA LINTASAN MIRING .....	30
2.2.6.4. MODEL REGIONAL.....	31
2.2.6.5. METODE REDAMAN HUJAN.....	40
1. METODE ITU-R.....	41
2. METODE CRANE GLOBAL .....	44
3. METODE DAH.....	48
2.3. STASIUN BUMI RAGAM TEMPAT (SITE DIVERSITY) .....	52
2.4. PERKIRAAN RASIO PENYEKALAN FREKUENSI .....	53
2.5. SUDUT ELEVASI DAN AZIMUTH SATELIT.....	55

2.5.1. SUDUT ELEVASI .....	55
2.5.2. SUDUT AZIMUTH .....	57
 BAB III FREKUENSI Ka-BAND .....	 59
3.1. UMUM .....	59
3.2. SISTEM Ka-BAND .....	61
3.3. KEUNTUNGAN PEMAKAIAN FREKUENSI Ka-BAND .....	62
3.3.1. PENINGKATAN BANDWIDTH DAN KAPASITAS PENANGANAN DATA .....	62
3.3.2. UKURAN KOMPONEN LEBIH KECIL .....	63
3.3.3. JEJAK SATELIT LEBIH KECIL .....	64
 BAB IV SATELIT OLYMPUS .....	 65
4.1. UMUM .....	65
4.2. MISI SATELIT OLYMPUS .....	66
4.3. PERALATAN BEACON OLYMPUS .....	68
4.4. PERCOBAAN PROPAGASI OLYMPUS .....	72
4.5. LOKASI PENELITIAN .....	74
 BAB V ANALISA REDAMAN PROPAGASI Ka-BAND .....	 80
5.1. UMUM .....	80
5.2. REDAMAN GAS .....	80

5.3. REDAMAN AWAN.....	88
5.4. SCINTILASI TROPOSFER.....	93
5.5. LAPISAN MELTING.....	102
5.6. REDAMAN HUJAN.....	105
5.6.1. HASIL PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DAN PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI BEBERAPA LOKASI DI EROPA.....	106
5.6.2. PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN DENGAN METODE DAH DAN METODE ITU-R.....	114
5.6.2.1. METODE DAH.....	115
5.6.2.2. METODE ITU-R.....	122
5.6.3. ANALISA HASIL PENGUKURAN DENGAN HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN.....	128
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	133
6.1. KESIMPULAN .....	133
6.2. SARAN.....	134
 DAFTAR PUSTAKA.....	136
LAMPIRAN 1: DATA IKLIM EROPA	
LAMPIRAN 2: GRAFIK DATA CURAH HUJAN	
LAMPIRAN 3: DAFTAR LOKASI OPEX	



LAMPIRAN 4: GRAFIK DATA REDAMAN HUJAN

USULAN TUGAS AKHIR

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## DAFTAR GAMBAR

---

GAMBAR 2.1	PERAMBATAN GELOMBANG RADIO PADA LINTASAN BUMI SATELIT.....	8
GAMBAR 2.2	REDAMAN SPESIFIK OKSIGEN DAN UAP AIR .....	10
GAMBAR 2.3	REDAMAN SPESIFIK OKSIGEN, UAP AIR DAN AWAN.....	19
GAMBAR 2.4	REDAMAN SPESIFIK HUJAN .....	28
GAMBAR 2.5	PERBANDINGAN REDAMAN SPESIFIK AWAN DENGAN REDAMAN SPESIFIK HUJAN.....	30
GAMBAR 2.6	PETA HARGA RATA-RATA CURAH HUJAN DUNIA MODEL RICE HOLMBERG.....	32
GAMBAR 2.7	HARGA PARAMETER $\beta$ .....	32
GAMBAR 2.8	CURAH HUJAN CCIR.....	34
GAMBAR 2.9	CURAH HUJAN CCIR LANJUTAN 1 .....	35
GAMBAR 2.10	CURAH HUJAN CCIR LANJUTAN 2.....	36
GAMBAR 2.11	DAERAH IKLIM HUJAN GLOBAL CRANE .....	38
GAMBAR 2.12	DAERAH IKLIM HUJAN GLOBAL CRANE UNTUK EROPA.....	39
GAMBAR 2.13	SKEMA LINTASAN MIRING DENGAN PARAMETER-PARAMETER PERHITUNGAN.....	42

GAMBAR 2.14	KETINGGIAN HUJAN $0^{\circ}\text{C}$ ISOTHERMIC MODEL CRANE.....	45
GAMBAR 2.15	GEOMETRI SUDUT ELEVASI.....	56
GAMBAR 2.16	GEOMETRI SUDUT AZIMUTH.....	58
GAMBAR 3.1	SPEKTRUM ELEKTROMAGNETIK.....	59
GAMBAR 3.2	ALOKASI FREKUENSI 20 GHz.....	61
GAMBAR 3.3	ALOKASI FREKUENSI 30 GHz.....	62
GAMBAR 4.1	SATELIT OLYMPUS.....	66
GAMBAR 4.2	BAGIAN-BAGIAN SATELIT OLYMPUS.....	67
GAMBAR 4.3	BLOK DIAGRAM PAYLOAD OLYMPUS.....	70
GAMBAR 4.4	COUNTUR PLOT BEACON PROPAGASI B1/B2 (dB) DAN COUNTUR SUDUT ELEVASI.....	70
GAMBAR 4.5	BLOK DIAGRAM SISTEM PENERIMA.....	76
GAMBAR 4.6	STASIUN PENERIMA DI RAL.....	77
GAMBAR 4.7	LOKASI PEMBUATAN BEACON SATELIT OLYMPUS.....	77
GAMBAR 5.1	REDAMAN OKSIGEN TERHADAP FREKUENSI.....	83
GAMBAR 5.2	REDAMAN UAP AIR TERHADAP FREKUENSI.....	85
GAMBAR 5.3	REDAMAN GAS TERHADAP FREKUENSI.....	87
GAMBAR 5.4	PENGUKURAN REDAMAN AWAN DI DARMSTADT..	88
GAMBAR 5.5	PREDIKSI REDAMAN AWAN DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz.....	92



GAMBAR 5.6	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN AWAN DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 29,65 GHz.....	92
GAMBAR 5.7	PENGUKURAN REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 29,65 GHz.....	93
GAMBAR 5.8	PREDIKSI REDAMAN SCINTILASI DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz .....	100
GAMBAR 5.9	PREDIKSI REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz .....	100
GAMBAR 5.10	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 29,65 GHz.....	101
GAMBAR 5.11	REDAMAN SCINTILASI TERHADAP FREKUENSI.....	105
GAMBAR 5.12	PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI KIRKKONUMMI.....	110
GAMBAR 5.13	PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI DARMSTADT .....	110
GAMBAR 5.14	PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .....	113
GAMBAR 5.15	PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .....	113
GAMBAR 5.16	PREDIKSI REDAMAN HUJAN DAH DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .....	121

GAMBAR 5.17	PREDIKSI REDAMAN HUJAN DAH DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .....	121
GAMBAR 5.18	PREDIKSI REDAMAN HUJAN ITU-R DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .....	127
GAMBAR 5.19	PREDIKSI REDAMAN HUJAN ITU-R DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz.....	127
GAMBAR 5.20	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 19,77 GHz.....	130
GAMBAR 5.21	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 29,65 GHz.....	130
GAMBAR 5.22	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 19,77 GHz.....	131
GAMBAR 5.23	PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 29,65 GHz.....	131

## DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	PARAMETER TIPE AWAN UNTUK PREDIKSI REDAMAN AWAN .....	18
TABEL 2.2	RATA-RATA SIFAT EMPAT TIPE AWAN .....	29
TABEL 2.3	DAFTAR KOEFISIEN $k$ DAN $\alpha$ UNTUK POLARISASI VERTIKAL DAN HORIZONTAL .....	29
TABEL 2.4	MODEL CURAH HUJAN RICE-HOLMBERG .....	37
TABEL 2.5	DISTRIBUSI CURAH HUJAN CCIR .....	37
TABEL 2.6	DISTRIBUSI CURAH HUJAN GLOBAL CRANE .....	38
TABEL 2.7	NILAI STANDAR DEVIASI .....	47
TABEL 3.1	ALOKASI BAND FREKUENSI SATELIT .....	60
TABEL 4.1	SPESIFIKASI DATA TEKNIK .....	71
TABEL 4.2	SPESIFIKASI BEACON Ka-BAND .....	71
TABEL 4.3	HASIL-HASIL TEST BEACON PAYLOAD .....	72
TABEL 4.4	SINYAL-SINYAL BEACON OLYMPUS .....	73
TABEL 4.5	LOKASI-LOKASI PENELITIAN OLYMPUS .....	78
TABEL 5.1	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN OKSIGEN .....	82
TABEL 5.2	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN UAP AIR .....	85
TABEL 5.3	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN GAS TOTAL .....	87



TABEL 5.4	DATA REDAMAN AWAN DI DARMSTADT.....	88
TABEL 5.5	PREDIKSI REDAMAN AWAN DI DARMSTADT.....	91
TABEL 5.6	PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI PADA PROSENTASE 0,01%.....	97
TABEL 5.7	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI DI DARMSTADT.....	98
TABEL 5.8	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI.....	99
TABEL 5.9	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN MELTING.....	104
TABEL 5.10	PERHITUNGAN REDAMAN MELTING PADA BERBAGAI FREKUENSI.....	104
TABEL 5.11	KARAKTERISTIK STASIUN BUMI.....	107
TABEL 5.12	HASIL PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI KIRKKONUMMI PERIODE 1 OKTOBER 1991 SAMPAI 30 SEPTEMBER 1992.....	108
TABEL 5.13	HASIL PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI DARMSTADT PERIODE JANUARI 1990 SAMPAI DESEMBER 1990.....	109
TABEL 5.14	HASIL PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI PERIODE 1 OKTOBER 1991 SAMPAI 30 SEPTEMBER 1992.....	111

TABEL 5.15	HASIL PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT PERIODE JANUARI 1990 SAMPAI DESEMBER 1990 .....	112
TABEL 5.16	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN METODE DAH DI DARMSTADT.....	119
TABEL 5.17	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN METODE DAH DI KIRKKONUMMI .....	120
TABEL 5.18	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN METODE ITU-R DI DARMSTADT .....	125
TABEL 5.19	HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN METODE ITU-R DI KIRKKONUMMI.....	126
TABEL 5.20	HARGA RMS ERROR.....	132

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

---

### **1.1. LATAR BELAKANG**

Pesatnya perkembangan teknologi telekomunikasi mengharuskan kita untuk lebih memperbaiki kualitas. Berbagai penelitian yang sedang dilakukan didasarkan pada kenyataan bahwa masalah umum yang terus dicari penyelesaiannya adalah penyediaan kanal komunikasi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas yang besar, kecepatan tinggi, serta bandwidth yang lebar. Pada sistem komunikasi satelit, hal di atas ditandai dengan peningkatan kepadatan pemakaian frekuensi di bawah Ku-band (14/12 GHz), sehingga penelitian yang mengarah pada penggunaan pita frekuensi yang lebih tinggi lagi sekarang ini telah giat dilaksanakan. Pita frekuensi Ka-band (30/20 GHz) pada sistem komunikasi satelit merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kepadatan spektrum pada frekuensi C-band dan Ku-band. Pengenalan dari Ka-band memberikan kesempatan baru bagi sambungan mikro terminal dengan fleksibilitas yang tinggi seperti halnya pada aplikasi bandwidth seperti High Definition Television (HDTV) dan Integrated Service Digital Network (ISDN).

Kondisi-kondisi propagasi pada sebuah hubungan satelit adalah tergantung pada frekuensi yang sangat tinggi. Badai hujan yang hampir tidak dirasakan pada C-band (6/4 GHz) dapat memutuskan hubungan pada Ku-band (14/12 GHz) dan



awan yang tidak mempengaruhi sinyal pada 12 GHz mempunyai pengaruh pada 30 GHz.

Program-program penelitian untuk menyelidiki pengaruh-pengaruh pada frekuensi ini telah dikemukakan pada tahun 1970. Pengukuran didapat dengan menggunakan COMSTAR di Amerika tahun 1978, BSE dan CS di Jepang (Fukuchi, 1983 dan Otsu, 1986). Eropapun memiliki beberapa keberhasilan di dalam penelitian propagasi gelombang seperti dalam ATS-6 tahun 1976. SIRIO diluncurkan pada tahun 1977, OTS (Orbit Test Satellite) diluncurkan tahun 1978, pengenalan propagasi ini dihasilkan dalam proyek COST 205 (Co-Operation Scientific et Technique). Kerja sama awal ini tidak hanya memberikan peningkatan di bidang ilmu pengetahuan dan di bidang praktek tetapi juga memberikan dasar yang baik untuk pengenalan *slant path* propagasi secara multinasional yang selanjutnya dinamai OPEX (Olympus Propagation Experiment), dimana peralatannya menggunakan tiga beacon yang dipasang di satelit Olympus.

Secara umum redaman propagasi di atmosfer pada link komunikasi satelit ditentukan oleh karakteristik iklim lokasi link komunikasi satelit, frekuensi operasi, sudut elevasi terhadap satelit dan beberapa faktor sistem lain. Efek redaman propagasi akan semakin besar dengan kenaikan frekuensi operasi dan permukaan sudut elevasi terhadap satelit. Sehingga dengan setiap peningkatan pada frekuensi, metode-metode prediksi untuk menghitung redaman propagasi perlu ditingkatkan. Satu-satunya cara untuk memvalidasi metode-metode prediksi

tersebut adalah dengan mengumpulkan data-data perambatan pada frekuensi yang akan dihitung.

## **1.2. PERMASALAHAN**

Pengaruh propagasi di atmosfer pada komunikasi satelit merupakan suatu yang tidak dapat dihindari. Efek propagasi ini akan mempengaruhi unjuk kerja link komunikasi satelit. Semakin tinggi frekuensi yang digunakan, redaman terhadap sinyal komunikasi menjadi besar. Permasalahan yang dihadapi adalah faktor-faktor apa yang mempengaruhi propagasi dan berapa besarnya redaman-redaman yang ditimbulkan pada frekuensi Ka-band.

## **1.3. PEMBATAAN MASALAH**

Studi mengenai hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band dengan menggunakan satelit Olympus, permasalahannya dibatasi pada penjelasan dan analisa model prediksi hujan dan redaman hujan, perhitungan redaman awan, lapisan melting, scintilasi troposfer dan gas. Pada perhitungan pembahasan ini menggunakan data hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band dengan menggunakan satelit Olympus. Lokasi penelitian diambil di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi, dimana kedua daerah ini terletak di benua Eropa.

## **1.4. METODOLOGI**

Metode penulisan tugas akhir ini adalah bersifat suatu studi literatur, yang dilakukan dengan membahas maupun menganalisa berbagai buku teks dan jurnal-



jurnal yang ada hubungannya dengan pengaruh propagasi pada sistem komunikasi satelit terutama mengenai redaman-redaman propagasi di lintasan komunikasi satelit. Kemudian penganalisaan data dan prediksi yaitu dengan menganalisa data-data pada frekuensi Ka-band dari hasil-hasil penelitian propagasi yang telah dilakukan oleh ESA (European Space Agency) dengan menggunakan satelit Olympus dan membandingkannya dengan model prediksi yang ada.

### **1.5. SISTEMATIKA PEMBAHASAN**

Dalam buku tugas akhir ini secara garis besar dibagi menjadi empat bagian, yakni pendahuluan, teori penunjang, pembahasan masalah, kesimpulan dan saran. Secara terinci diuraikan dalam enam bab, sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, metodologi, sistematika pembahasan, tujuan dan relevansi.

#### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Berisi pembahasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi redaman-redaman propagasi Ka-band pada sistem komunikasi satelit, penyekalaan frekuensi, site diversity dan sudut elevasi.

#### **BAB III FREKUENSI Ka-BAND**

Berisi pembahasan tentang pembagian frekuensi secara umum dan keuntungan pengoperasian frekuensi Ka-band.



#### BAB IV SATELIT OLYMPUS

Berisi pembahasan tentang perkembangan sistem komunikasi satelit, misi satelit olympus, karakteristik sistem dan lokasi-lokasi penelitian propagasi dari satelit Olympus.

#### BAB V ANALISA REDAMAN PROPAGASI Ka-BAND

Berisi analisa perhitungan redaman gas, awan, scintilasi troposfer, lapisan melting dan hujan, perbandingan hasil prediksi dengan hasil pengukuran redaman propagasi Ka-band di beberapa tempat di Eropa dengan menggunakan satelit Olympus.

#### BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari pembahasan dan bab-bab sebelumnya, serta saran-saran.

#### 1.6. TUJUAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memperoleh informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi redaman, besarnya hasil perhitungan redaman pada lintasan propagasi pada sistem komunikasi satelit di beberapa tempat di Eropa pada frekuensi Ka-band berdasarkan pada hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan satelit Olympus.

#### 1.7. RELEVANSI

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan referensi dan pemahaman mengenai kondisi dari aplikasi sistem komunikasi

satelit pada frekuensi Ka-band dengan mempertimbangkan pengaruh redaman di atmosfer pada link komunikasi satelit.

## BAB II

### TEORI PENUNJANG

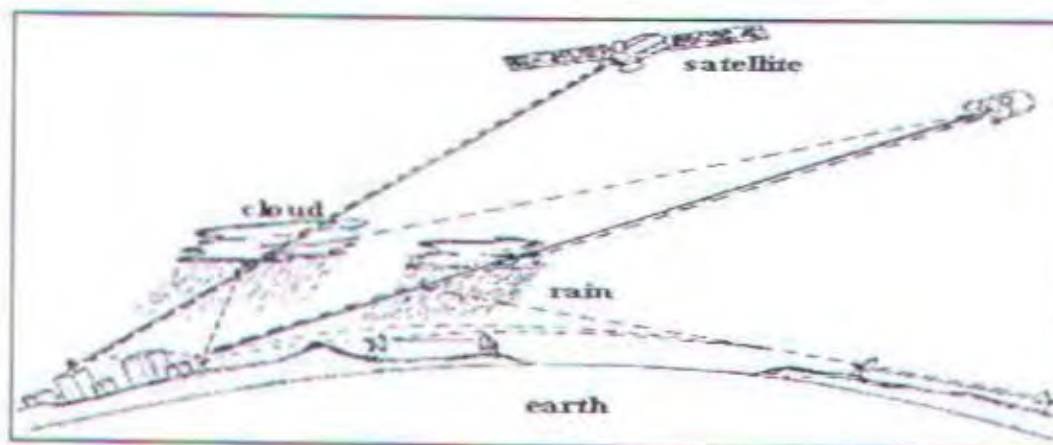
---

#### 2.1. UMUM

Perambatan gelombang radio pada link sistem komunikasi satelit akan mengalami redaman-redaman yaitu redaman di atmosfer. Pada gambar 2.1 memperlihatkan perambatan gelombang radio pada lintasan bumi satelit akan mengalami redaman-redaman di atmosfer. Adanya redaman-redaman ini akan mempengaruhi operasi dari sistem, sehingga dalam perancangan suatu sistem komunikasi satelit perlu memperkirakan besarnya redaman-redaman tersebut untuk didapatkan unjuk kerja sistem yang diharapkan.

Faktor penting dalam menentukan redaman yang terjadi karena pengaruh atmosfer bumi pada komunikasi satelit adalah besarnya pengaruh frekuensi gelombang radio. Pengaruh ini disebabkan oleh adanya hujan, awan, melting, scintilasi dan gas-gas di atmosfer. Redaman gas-gas atmosfer akan berpengaruh besar pada frekuensi operasi di atas 10 GHz terutama pada sudut elevasi rendah. Adanya redaman-redaman gas atmosfer dipengaruhi pula oleh sifat permukaan bumi seperti kerapatan uap air, suhu permukaan dan tekanan. Redaman yang disebabkan oleh hujan akan berpengaruh besar pada frekuensi operasi di atas 10 GHz, dimana karakteristik redaman hujan dari suatu lokasi bergantung pada kondisi cuaca pada stasiun penerimanya.





GAMBAR 2.1<sup>1</sup>  
PERAMBATAN GELOMBANG RADIO PADA LINTASAN BUMI SATELIT

Sedangkan redaman awan dan kabut bergantung pada karakteristik awan yaitu tipe awan dan pendekatan perkiraan harga kandungan airnya. Fenomena propagasi di atas akan mempengaruhi kualitas sinyal dan keandalan dari sistem sehingga menyebabkan suatu sistem outage (tidak terlayani). Sistem outage mengacu pada kualitas dan keandalan dari sistem. Oleh karena itu tujuan pertama dari pengamatan fenomena propagasi ini adalah memberikan pendekatan/prediksi besarnya redaman-redaman sinyal propagasi pada lintasan bumi satelit.

## 2.2. FAKTOR-FAKTOR PROPAGASI

Propagasi gelombang radio adalah perambatan gelombang radio dari suatu pemancar ke suatu penerima melalui suatu medium. Gelombang radio apabila merambat di atmosfer akan mengalami redaman-redaman. Redaman-redaman propagasi di atmosfer meliputi:

<sup>1</sup> P. L. Olsen, et al. INTERFERENCE DUE TO HYDROMETEOR SCATTER ON SATELLITE COMMUNICATION LINKS (Proceedings of The IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993), p. 914

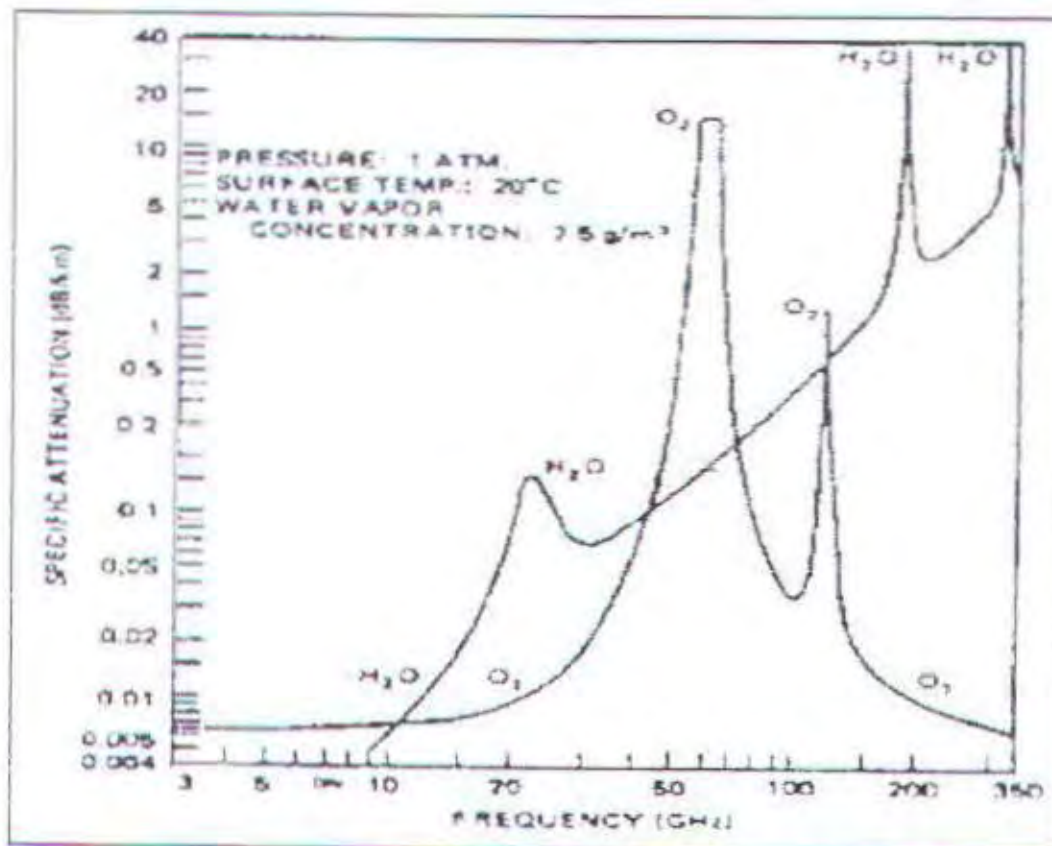
1. Redaman gas
2. Redaman awan
3. Redaman scintilasi troposfer
4. Redaman lapisan melting
5. Redaman hujan

Redaman-redaman yang terjadi pada lintasan transmisi akan mengakibatkan penurunan level sinyal yang dipancarkan.

### 2.2.1. REDAMAN GAS

Redaman gas merupakan proses absorpsi, dimana unsur gas yang penting dalam komunikasi ruang angkasa ini adalah oksigen ( $O_2$ ) dan uap air ( $H_2O$ ). Redaman gas akan naik dengan kenaikan frekuensi dan tergantung pada temperatur, tekanan dan kelembaban. Penurunan level sinyal pada perambatan gelombang radio melewati atmosfer bumi terjadi akibat adanya komponen-komponen gas pada lintasan transmisi. Redaman yang diakibatkan oleh penyerapan gas-gas atmosfer terutama bergantung pada frekuensi, sudut elevasi, ketinggian di atas permukaan laut dan kerapatan uap air. Pada frekuensi di bawah 10 GHz pengaruh gas-gas atmosfer ini dapat diabaikan, sedangkan pada frekuensi di atas 10 GHz pengaruhnya semakin naik terutama pada sudut elevasi rendah.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> CCIR report 564-4, PROPAGATION DATA AND PREDICTION METHOD REQUIRED FOR THE EARTH-SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEM (Propagation in Non-Ionized Media, ITU Geneva, Vol. V, 1990), p. 450



GAMBAR 2.2<sup>3</sup>  
REDAMAN SPESIFIK OKSIGEN DAN UAP AIR

Oksigen ( $O_2$ ) dan uap air ( $H_2O$ ) merupakan gas-gas atmosfer yang berinteraksi dengan link komunikasi satelit. Redaman yang dihasilkan oleh oksigen dan uap air dalam atmosfer ditentukan oleh redaman spesifik untuk tiap komponen dalam dB/km. Pada gambar 2.2 menunjukkan redaman spesifik oksigen dan uap air pada permukaan bumi dengan kerapatan uap air 7,5 g/m<sup>3</sup>, suhu 20°C dan tekanan 1 atmosfer. Pada daerah frekuensi di atas 10 hingga 350 GHz redaman gas memiliki efek yang nyata pada desain sistem komunikasi. Pada frekuensi 22,235 GHz, 183,3 GHz dan 325 GHz uap air memiliki redaman

<sup>3</sup> Ittekk, L. J., RADIOWAVE PROPAGATION IN SATELLITE COMMUNICATION (Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986), p. 27



spesifik yang besar, sedangkan untuk oksigen redaman spesifik terbesar pada rentang frekuensi 53,5 GHz hingga 65,2 GHz.

Rekomendasi ITU-R RPN.618-4 (1996) memberikan metode prediksi absorpsi gas atmosfer (oksigen dan uap air). Parameter input yang diperlukan untuk perhitungan adalah frekuensi, sudut elevasi, tinggi terminal di atas permukaan laut dan kerapatan uap air.

#### 2.2.1.1. REDAMAN OKSIGEN

Oksigen menyebabkan penyerapan karena memiliki momentum magnet dua kutub dimana kontribusinya sangat berpengaruh pada band-band tertentu dan juga karena banyaknya jumlah oksigen di atmosfer. Prosedur untuk perhitungan redaman oksigen mengikuti persamaan:

$$\gamma_o = \left[ 7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{(f^2 + 0,227)} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right] f^2 \cdot 10^{-3} \text{ dB/km} \quad (2.1)$$

untuk  $f < 57$  GHz dan

$$\gamma_o = \left[ 3,79 \cdot 10^{-7} \cdot f + \frac{0,265}{(f - 63)^2 + 1,59} + \frac{0,028}{(f - 118)^2 + 1,47} \right] (f + 198)^2 \cdot 10^{-3} \text{ dB/km} \quad (2.2)$$

untuk  $f < 63$  GHz

Faktor koreksi redaman spesifik suhu selain 15°C adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma_o = \gamma_o \cdot (1 - 0,01 \cdot (t - 15)) \quad (2.3)$$

Untuk menghasilkan redaman total sepanjang lintasan zenit, memakai ketinggian ekivalen dari oksigen dengan :

$$h_o = 6 \text{ km} \quad (2.4)$$

untuk  $f < 57 \text{ GHz}$  dan

$$h_o = 6 + \frac{40}{(f - 118,7)^2 + 1} \text{ km} \quad (2.5)$$

untuk  $f < 63 \text{ GHz}$ .

Sedangkan redaman gas oksigen pada lintasan didapatkan dari persamaan:

$$A_o = \frac{h_o \gamma_o}{\sin \theta} \text{ dB} \quad (2.6)$$

untuk  $\theta > 10^\circ$  dan

$$A_o = \frac{\gamma_o \sqrt{R_e h_o}}{\cos \theta} F\left(\tan \theta, \sqrt{\frac{R_e}{h_o}}\right) \quad (2.7)$$

$$F(X) = \frac{1}{0,661X + 0,339 \sqrt{X^2 + 5,51}} \quad (2.8)$$

untuk  $\theta \leq 10^\circ$

dimana,

$f$  adalah frekuensi (GHz)

$t$  adalah temperatur ( $^\circ\text{C}$ )

$\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)

$R_e$  adalah efektif radius bumi (8500 km)

Pengaruh dari temperatur pada redaman spesifik oksigen didapatkan lebih kuat pada redaman total zenit dari data radiosonde, dengan alasan bahwa variasi temperatur pada permukaan bumi lebih besar dari pada yang terjadi sepanjang lintasan propagasi.

### 2.2.1.2. REDAMAN UAP AIR

Dalam daerah gelombang mikro dan gelombang milimeter, terdapat garis penyerapan yang lemah pada frekuensi 22,235 GHz sedangkan garis yang lebih kuat pada 183,3 GHz dan 324,4 GHz.<sup>4</sup>

Sama halnya pada kasus redaman oksigen, ITU-R menghitung redaman spesifik akibat uap air pada permukaan bumi dari parameter-parameter meteorologi serta menggunakan sebuah tinggi efektif uap air untuk menghasilkan total redaman zenit. Prosedur untuk perhitungan redaman uap air diberikan dengan persamaan:

$$\gamma_w = \left[ 0,08 + 0,021 \rho_v + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 85} + \frac{106}{(f - 183,3)^2 + 9} + \frac{89}{(f - 325,4)^2 + 263} \right] f^2 \cdot \rho \cdot 10^{-4} \text{ dB/km} \quad (2.9)$$

Faktor koreksi redaman spesifik suhu selain 15°C adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma_w = \gamma_w \cdot (1 - 0,006 \cdot (t - 15)) \quad (2.10)$$

Data karakteristik atmosfer untuk iklim Eropa pada bulan Juli dapat dilihat pada lampiran 1. Dimana dari data ini diketahui harga relative humidity dan temperatur berdasarkan pada ketinggian suatu tempat, yang digunakan untuk menghitung kerapatan uap air. Nilai kerapatan uap air dinyatakan dengan persamaan:

$$\rho_v = \frac{H \cdot e_s}{0,461 \cdot (t + 273)} \quad (2.11)$$

$$e_s = 6,1121 \cdot \exp\left(\frac{17,502 \cdot t}{t + 240,97}\right) \quad (2.12)$$

<sup>4</sup> E. Bartholomé, ATMOSPHERIC MEASUREMENTS (OPEN, Reference Book on Radiometry and Meteorological Measurements, Vol. 3, November 1994), p. 84



Untuk menghasilkan redaman total sepanjang lintasan propagasi zenit, metode ITU-R memakai sebuah tinggi ekivalen uap air:

$$h_w = h_{w0} \left[ 1 + \frac{3}{(f - 22,2)^2 + 5} + \frac{5}{(f - 183,3)^2 + 6} + \frac{2,5}{(f - 325,4)^2 + 4} \right] \text{ km} \quad (2.13)$$

dimana  $h_{w0}$  adalah tinggi ekivalen uap air untuk suatu daerah tangkapan dengan  $h_{w0} = 1,6$  km untuk udara cerah dan  $h_{w0} = 2,1$  km untuk hujan. Sedangkan besarnya redaman uap air dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_w = \frac{h_w \cdot \rho_w}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad (2.14)$$

untuk  $\theta > 10^\circ$  dan

$$A_w = \frac{\gamma_w \cdot \sqrt{R_e \cdot h_w}}{\cos \theta} \cdot F(\tan \theta \cdot \sqrt{R_e \cdot h_w}) \quad \text{dB} \quad (2.15)$$

$$F(X) = \frac{1}{0,661X + 0,339 \cdot \sqrt{X^2 + 5,51}} \quad (2.16)$$

untuk  $\theta \leq 10^\circ$

dimana,

- $f$  adalah frekuensi (GHz)
- $H$  adalah relative humidity (%)
- $e_s$  adalah tekanan saturasi uap air (mb)
- $t$  adalah temperatur ( $^\circ\text{C}$ )
- $\rho_v$  adalah kerapatan uap air ( $\text{g/m}^3$ )
- $\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)
- $R_e$  adalah efektif radius bumi (8500 km)

### 2.2.2. REDAMAN AWAN

Pengukuran awan yang akurat adalah sangat sulit meskipun dilakukan secara langsung di angkasa. Awan memiliki karakteristik yang sangat rumit. Dari sudut pandang makro, fisik awan ditentukan oleh tipe dan bentuk, ketinggian, lebar ke arah vertikal dan horisontal serta strukturnya. Dari sudut pandang mikro, fisik dan termodinamik awan ditentukan oleh temperatur, kandungan cairan, kerapatan uap air. Sehingga semuanya itu memberikan suatu hal yang lebih sulit dalam mengetahui kondisi awan.

Awan mengandung butiran air berdiameter kurang dari 0,1 mm, sedangkan pada hujan memiliki diameter butiran air antara 0,1 mm hingga 10 mm. Awan adalah butiran air dan bukan uap air, terkadang awan memiliki kelembaban relatif hampir 100%. Rata-rata kandungan air dalam bentuk zat cair dalam awan berkisar antara 0,05 hingga 2 g/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada kabut memiliki kandungan kira-kira 0,05 g/m<sup>3</sup> untuk kabut sedang (jarak pengelihatannya kira-kira 300 m) dan 0,5 g/m<sup>3</sup> untuk kabut tebal (jarak pengelihatannya kira-kira 50 m). Tabel 2.1 menunjukkan parameter awan untuk prediksi redaman awan di daerah Darmstadt dan daerah New York.

Redaman yang disebabkan awan pada link komunikasi satelit sangat berpengaruh pada frekuensi di atas 20 GHz terutama pada sudut elevasi rendah. Sedangkan redaman kabut sangat berarti pada frekuensi di atas 100 GHz. Pada gambar 2.2 menunjukkan perbandingan redaman spesifik oksigen, uap air dan awan sebagai fungsi frekuensi.

TABEL 2.1<sup>5</sup>  
PARAMETER AWAN  
UNTUK PREDIKSI REDAMAN AWAN

Parameter	Darmstadt	New York
Percentage of Cumulo Nimbus	2,000	2,300
Percentage of Cumulus	4,000	3,000
Percentage of Nimbostratus	12,000	13,500
Percentage of Stratus	37,300	34,500
Percentage of Total Cloud Cover, $P_o$	63,300	70,500
$\overline{A_e}$	0,433	0,227
$\sigma_e$	0,705	0,956

Model pendekatan yang digunakan adalah model Liebe yang dipadukan dengan model DAH (Asoka Dissanayake, Jeremy E. Allnutt dan Fatim Haidara) untuk tingkat redaman pada prosentase waktu yang lain. Model ini diturunkan dengan menggunakan sifat awan secara rata-rata dengan asumsi bahwa distribusi statistik awan mengikuti probabilitas log-normal.

Langkah-langkah perhitungan redaman awan adalah sebagai berikut:

*Langkah 1:*

Menghitung redaman spesifik awan dengan persamaan:<sup>6</sup>

$$\alpha_{at} = \frac{0,1820 \cdot \left(\frac{9}{2}\right) \cdot f \cdot v_i}{\varepsilon''(y^2 + 1)} \quad \text{dB/km} \quad (2.17)$$

dengan,

<sup>5</sup> Dissanayake, Allnutt, Haidara, A PREDICTION MODEL THAT COMBINES RAIN ATTENUATION AND OTHER PROPAGATION IMPAIRMENTS ALONG EARTH-SATELLITE PATHS (IEEE, Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 45, No. 10, October 1997), p. 1519.

<sup>6</sup> G. C. Gorokh, E. K. Smith, A COMPARISON OF CLOUD MODEL (IEEE, Antennas and Propagation Magazine, October 1990), p. 33.



$$y = (\varepsilon' + 2) / \varepsilon'' \quad (2.18)$$

- Menghitung variabel temperatur *relative inverse* dengan persamaan:

$$\theta = \frac{300}{t + 273,15} \quad (2.19)$$

- Menghitung frekuensi *Principal* dan *secondary*:

$$f_p(t) = 20,09 - 142,4 \cdot (\theta - 1) + 294 \cdot (\theta - 1)^2 \quad (2.20)$$

$$f_s(t) = 590 - 1500 \cdot (\theta - 1) \quad (2.21)$$

- Menghitung konstanta *permittivity*:

$$\varepsilon_0(t) = 77,66 + 103,3 \cdot (\theta - 1) \quad (2.22)$$

$$\varepsilon_1 = 5,48$$

$$\varepsilon_2 = 3,51$$

- Menghitung bagian real dan imajiner dari *complex permittivity of water*:

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + \left(\frac{f}{f_p}\right)^2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \left(\frac{f}{f_s}\right)^2} + \varepsilon_2 \quad (2.23)$$

$$\varepsilon''(f) = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_1) \cdot \left(\frac{f}{f_p}\right)}{1 + \left(\frac{f}{f_p}\right)^2} + \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot \left(\frac{f}{f_s}\right)}{1 + \left(\frac{f}{f_s}\right)^2} \quad (2.24)$$

Langkah 2:

Menghitung redaman *slant path* total  $A_{si}$  untuk tiap tipe awan ( $i = 1$  sampai 4)

didapat dari perkalian redaman spesifik dan *vertical extent* dengan persamaan:

$$A_{si} = \frac{a_{si} \cdot H_{si}}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad (2.25)$$

Untuk sudut elevasi selain *zenith*, redaman sepanjang masing-masing tipe awan dihitung dengan asumsi bentuk awan silinder vertikal dengan ukuran horisontal dan vertikal ( $H_e$  dan  $L_e$ ), ditunjukkan pada tabel 2.2.

*Langkah 3:*

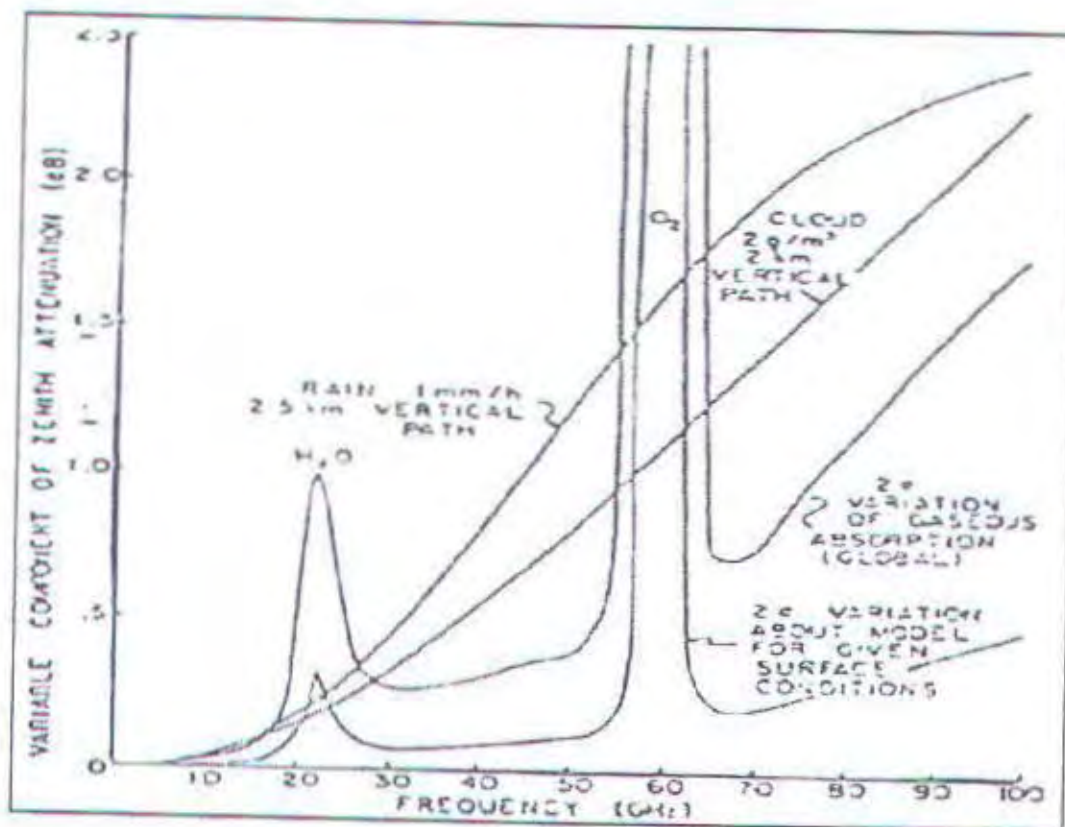
Jika ke empat tipe awan diurut menurut tingkat redaman maka menghasilkan empat titik pada kurva distribusi redaman bersyarat awan  $A_c$ , dengan persamaan:

$$P(A > A_c) = \frac{P_0}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{\ln A - \ln \bar{A}_c}{\sqrt{2} \cdot \sigma_c} \right) \quad (2.26)$$

dimana,

- $t$  adalah temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $v_i$  adalah kandungan air dari awan ( $\text{g/m}^3$ )
- $\varepsilon'$  adalah bagian real dari *comple permitivity of water*
- $\varepsilon''$  adalah bagian imajiner dari *comple permitivity of water*
- $P$  adalah probabilitas redaman awan  $A_c$  tidak melebihi  $A$
- $P_0$  adalah probabilitas terjadi redaman awan
- $\operatorname{erfc}$  adalah *complementary error function*
- $\bar{A}_c$  adalah harga rata-rata dari  $A_c$
- $\sigma_c$  adalah standar deviasi dari  $A_c$

Pada persamaan ini diperlukan probabilitas bersyarat pada distribusi redaman awan.



GAMBAR 2.3<sup>7</sup>  
REDAMAN SPESIFIK OKSIGEN, UAP AIR DAN AWAN

TABEL 2.2<sup>8</sup>  
RATA-RATA SIFAT EMPAT TIPE AWAN

Cloud Type	Vertical Extent $H_c$ (km)	Horizontal extent $L_c$ (km)	Water content $v$ (g/m <sup>3</sup> )
Cumulunimbus	3,0	4,0	1,0
Cumulus	2,0	3,0	0,6
Nimbostratus	0,8	10,0	1,0
Stratus	0,6	10,0	0,4

<sup>7</sup> Crane, R. K., PREDICTION ATTENUATION BY RAIN (IRE Transactions on Communications, Vol. Com-26, No. 9, September 1980), p. 1718

<sup>8</sup> Dismayuki, Alimul Haidara, op cit p. 1517



### 2.2.3. SCINTILASI TROPOSFER

Propagasi gelombang radio pada sistem komunikasi satelit dengan sudut elevasi rendah sangat dipengaruhi oleh ketidakaturan indeks bias troposfer. Ketidakaturan indeks bias troposfer tersebut akan menimbulkan fluktuasi level sinyal secara cepat atau disebut dengan scintilasi troposfer. Scintilasi troposfer terjadi secara kontinyu tidak memandang apakah kondisi cuaca dalam keadaan cerah ataupun hujan. Pada kondisi hujan, fluktuasi sinyal akan menyertai redaman level sinyal yang disebabkan oleh hujan. Sehingga untuk menganalisa scintilasi selama kondisi hujan diperlukan perhatian yang lebih. Usaha-usaha yang ada sekarang terbatas pada *slant path* dengan sudut elevasi lebih dari  $5^\circ$ . Untuk sudut elevasi ini dan dalam rentang frekuensi tertentu, scintilasi biasanya diakibatkan oleh awan terutama awan Cumulus. Untuk sudut elevasi di bawah  $5^\circ$  di bahas pada sub bab 2.2.4. Secara umum pengaruh hujan pada sinyal komunikasi adalah dominan. Scintilasi menjadi hal yang sangat penting untuk sistem margin rendah pada pengoperasian dengan frekuensi tinggi dan sudut elevasi rendah. Rekomendasi 718-3 memberikan *mean* varian dari logaritma sinyal amplitudo dalam bentuk fungsi frekuensi, sudut elevasi, diameter antena, ketinggian dari turbulen dan humidity dari indeks refraksi. Karakteristik atmosfer untuk iklim Eropa dapat dilihat pada lampiran 1. Pengukuran dari Olympus telah diperluas pada frekuensi percobaan hingga mencapai frekuensi 30 GHz.

Tujuan dari studi scintilasi ini adalah untuk meramalkan besarnya redaman scintilasi pada sinyal komunikasi untuk daerah tertentu serta frekuensi tertentu, diameter antena dan sudut elevasi.

Adapun langkah-langkah untuk menghitung besarnya redaman scintilasi adalah sebagai berikut:

*Langkah 1:*

Menentukan harga rata-rata dari temperatur dalam °C dan *relative humidity* dalam per sen (%) dari daerah yang akan dihitung.

*Langkah 2:*

Menghitung tekanan saturasi uap air dengan persamaan:

$$e_s = a \cdot \exp \left[ \frac{b \cdot t}{t + c} \right] \quad (2.27)$$

dengan,

$$a = 6,1121$$

$$b = 17,502$$

$$c = 240,97$$

harga ini sesuai untuk temperatur antara -20°C hingga +50°C.

*Langkah 3:*

Menghitung  $N_{wet}$  'wet-term' berdasarkan nilai tekanan uap air dan *relative humidity* dengan persamaan:

$$N_{wet} = \frac{3730 \cdot H \cdot e_s}{(273 + t)^2} \quad (2.28)$$

*Langkah 4:*

Menghitung standar deviasi dari sinyal amplitude dengan persamaan:

$$\sigma_{ref} = 3,6 \times 10^{-3} + 10^{-4} \cdot x N_{wet} \quad (2.29)$$

Langkah 5:

Menghitung panjang lintasan efektif dengan persamaan:

$$L = \frac{2 \cdot h_i}{\sqrt{\sin^2 \theta + 2,35 \times 10^{-4} + \sin \theta}} \quad \text{km} \quad (2.30)$$

Langkah 6:

Menghitung diameter antena efektif dari diameter geometrik dan efisiensi antena dengan menggunakan persamaan:

$$D_{\text{eff}} = \sqrt{\eta} \cdot D_{\text{geom}} \quad (2.31)$$

Langkah 7:

Menghitung faktor rata-rata antena:

$$g(X) = \sqrt{3,86 \cdot (X^2 + 1)^{11/12} \cdot \sin\left(\frac{11}{6} \cdot \arctan \frac{1}{X}\right) \cdot 7,08 \cdot X^{5/6}} \quad (2.32)$$

dengan,

$$X = 1,22 \cdot D_{\text{eff}}^2 \cdot \left(\frac{f}{L}\right) \quad (2.33)$$

Langkah 8:

Menghitung standar deviasi dari sinyal dengan persamaan:

$$\sigma = \sigma_{\text{ref}} \cdot f^{7/12} \cdot \frac{g(X)}{(\sin \theta)^{1/2}} \quad (2.34)$$

Langkah 9:

Menghitung faktor prosentase waktu dengan menggunakan persamaan:

$$a(P) = -0,061 \cdot (\log_{10} P)^3 + 0,072 \cdot (\log_{10} P)^2 - 1,71 \cdot \log_{10} P + 3 \quad (2.35)$$



Langkah 10:

Menghitung *fade depth* scintilasi untuk berbagai prosentase waktu:

$$x(P) = a(P) \cdot \sigma \quad (2.36)$$

dimana,

$t$  adalah temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h_t$  adalah tinggi lapisan turbulen (dengan ketinggian 1000 m)

$\eta$  adalah efisiensi antena (apabila tidak diketahui maka bernilai 0,5)

$f$  adalah frekuensi (GHz)

#### 2.2.4. FADING SUDUT KECIL (LOW ANGLE FADING)

Untuk sudut elevasi di bawah  $5^{\circ}$ , harga standar deviasi untuk menentukan distribusi *fading* diberikan dengan persamaan:

$$\sigma_f = \sigma + \sigma_o (e^{k(5-\theta)} - 1,0) \quad (2.37)$$

dengan,

$$a = 0,11$$

untuk  $(0^{\circ} < \theta < 5^{\circ})$

dimana,

$\sigma_f$  adalah modifikasi standar deviasi

$\sigma$  adalah standar deviasi scintilasi troposfer

$\sigma_o$  adalah standar deviasi pada frekuensi 4 GHz dan diameter antena 4 m

### 2.2.5. REDAMAN LAPISAN MELTING

Lapisan yang mencair pada daerah disekitar garis *isotherm* 0°C dimana es dan partikel salju mencair dan berbentuk butiran hujan. Ketebalan dari lapisan yang mencair ini adalah sekitar 500 m. Redaman yang dihasilkan oleh partikel es yang mencair dapat mencapai level tertentu khususnya untuk sudut elevasi rendah. Pemodelan dari redaman hujan biasanya dihitung untuk pengaruh melting dari intensitas curah hujan sedang sampai tinggi misalnya lebih besar atau sama dengan 2 mm/h. Perhitungan terpisah dari lapisan ini diperlukan hanya untuk intensitas curah hujan rendah.

Adapun langkah-langkah perhitungan yang menunjukkan hubungan antara curah hujan dan redaman spesifik di dalam lapisan melting adalah:

*Langkah 1:*

Menghitung redaman spesifik dari lapisan melting dengan persamaan:

$$\alpha_m = a \cdot R^b \quad \text{dB/km} \quad (2.38)$$

dengan,<sup>9</sup>

$$a = 10^{-2,113 + 1,23 \cdot \log(f)} \quad (2.39)$$

$$b = 1,5 - 0,275 \cdot \log(f) \quad (2.40)$$

*Langkah 2:*

Menghitung panjang lintasan lapisan melting dengan tebal lapisan melting diambil  $D_m = 0,5 \text{ km}$

<sup>9</sup> M. M. Z. Khoradly, Angela S. V. Choi, A SIMPLIFIED APPROACH TO THE EVALUATION OF EMIW PROPAGATION CHARACTERISTICS IN RAIN AND MELTING SNOW DEER, *Transactions Antennas and Propagation*, Vol. 36, No. 2, February 1988, p. 282

$$L_m = \frac{0,5}{\sin \theta} \text{ km} \quad (2.41)$$

Harga panjang lintasan dibatasi sampai 10 km

### Langkah 3

Menghitung redaman lapisan melting dengan persamaan:

$$A_m = \alpha_m \cdot L_m \text{ dB} \quad (2.42)$$

dimana,

$R$  adalah intensitas curah hujan (mm/h)

$f$  adalah frekuensi (GHz)

$\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)

## 2.2.6. REDAMAN HUJAN

Hujan di sepanjang lintasan propagasi menyebabkan redaman terhadap sinyal gelombang mikro. Radaman hujan diakibatkan oleh *absorpsi* dan hamburan dari tetes-tetes air hujan. Redaman hujan di setiap lokasi berbeda, tergantung pada intensitas curah hujan di setiap lokasi. Intensitas curah hujan dapat diperoleh dari hasil pengukuran atau dengan menggunakan model regional curah hujan.

### 2.2.6.1. TEKNIK PENGUKURAN HUJAN

Pengukuran hujan diperlukan untuk memperoleh data-data curah hujan dimana data-data pengukuran ini diperlukan untuk menghitung redaman-redaman hujan.



Adapun teknik-teknik pengukuran intensitas curah hujan adalah sebagai berikut:

### **1. Rain Gauge**

Teknik ini biasa juga disebut dengan metode pengukuran curah hujan. Metode ini menentukan besar redaman dengan mengukur curah hujan pada suatu lokasi. Besarnya curah hujan diukur dengan alat yang dinamakan *rain gauge*, yang akan mengukur jumlah air hujan yang jatuh pada suatu tempat dengan luasan tertentu tiap satuan waktu.

### **2. Radiometer**

Radiometer adalah sebuah alat yang didesain untuk pengukuran variasi daya derau atau perubahan temperatur sumber derau. Teknik pengukuran ini sudah digunakan dalam beberapa dekade pada radio astronomi.

### **3. Satelit Beacon**

Metode ini mengukur secara langsung level sinyal beacon yang dipancarkan oleh satelit geostasioner selama waktu tertentu. Level yang diterima akan bervariasi tergantung pada redaman yang terjadi sepanjang lintasan propagasi gelombang antara satelit dan antena penerima di bumi. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang teliti, waktu minimal yang dibutuhkan untuk pengukuran adalah satu tahun. Pengukuran dengan satelit beacon ini mempunyai ketelitian yang baik, karena data redaman yang diperoleh adalah data dari gelombang yang mengalami redaman. Namun metode pengukuran ini memerlukan peralatan yang rumit dan mahal.

### 2.2.6.2. REDAMAN SPESIFIK

Menurut Olsen, Rogers dan Hodge, hubungan redaman spesifik terhadap intensitas curah hujan dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_R = k R^a \quad \text{dB/km} \quad (2.43)$$

dimana:

$\gamma_R$  adalah redaman spesifik, yaitu besar redaman tiap satuan jarak (dB/km)

$R$  adalah intensitas curah hujan (mm/h)

$k, a$  adalah konstanta yang bergantung pada frekuensi

Nilai  $k$  dan  $a$  dibedakan sesuai dengan kondisi polarisasi vertikal dan horisontal seperti pada tabel 2.4. Gambar 2.4 menunjukkan redaman spesifik hujan. Sedangkan perbandingan redaman spesifik hujan dan awan pada gambar 2.5.

Untuk frekuensi tertentu yang tidak tercantum pada tabel nilai-nilai di atas dapat dihitung dengan interpolasi (interpolasi logaritmik untuk nilai  $k$  dan  $f$ , interpolasi linier untuk nilai  $a$ ). Jika nilai  $k_H, k_V$ , dan  $a_H, a_V$  (masing-masing untuk polarisasi horisontal maupun vertikal) berkaitan dengan  $f_1$  dan  $f_2$ , prosedur interpolasi untuk frekuensi yang dibutuhkan adalah:

$$k_{(f)} = \log^{-1} [\log(k_V/k_H) \cdot (\log(f/f_1)/\log(f_2/f_1)) + \log k_V] \quad (2.44)$$

$$a_{(f)} = [(\alpha_H - \alpha_V) \cdot (\log(f/f_1)/\log(f_2/f_1)) + \alpha_H] \quad (2.45)$$

Nowland, Olsen dan Shkarofsky menghitung nilai  $k$  dan  $a$  untuk jenis polarisasi yang horisontal maupun vertikal tetapi memiliki sudut kemiringan, sudut polarisasi menurut persamaan:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cdot \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (2.46)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (2.47)$$

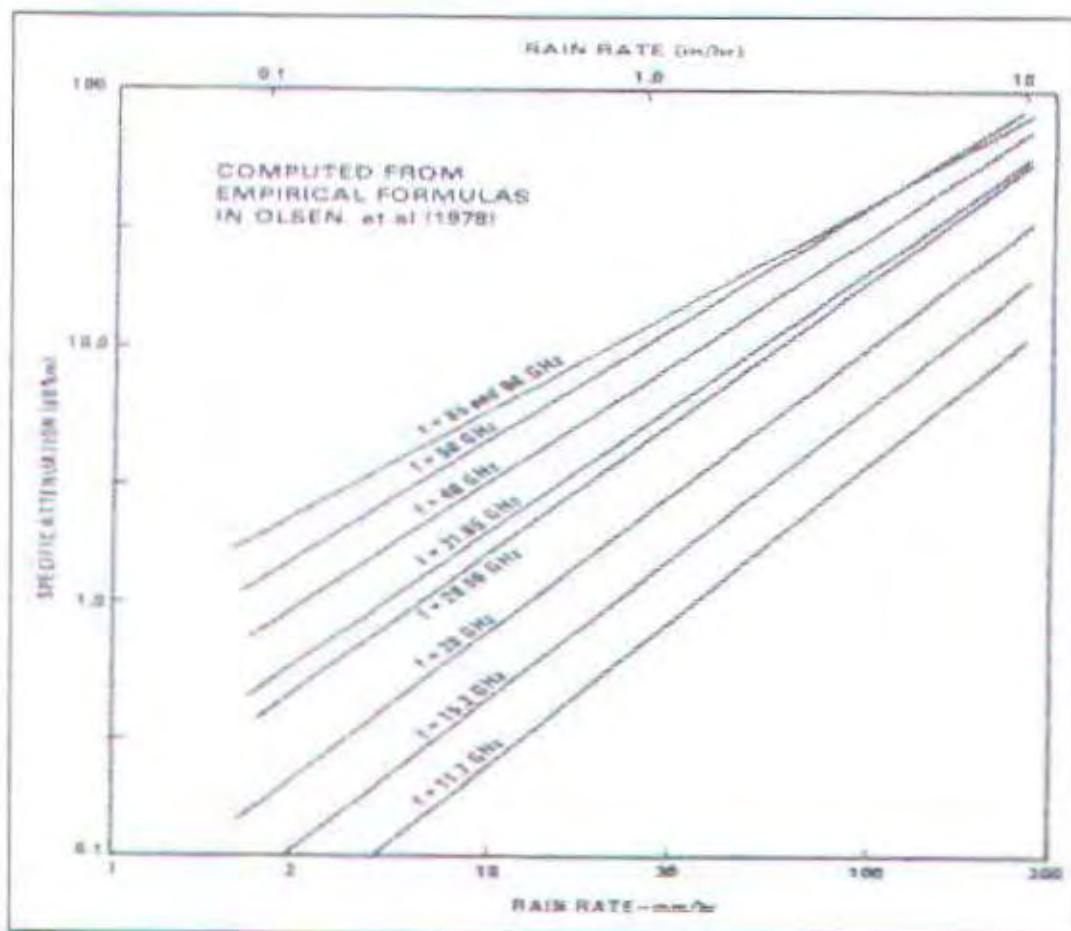
dimana:

$\theta$  adalah sudut elevasi lintasan

$\tau$  adalah sudut condong polarisasi terhadap posisi horisontal ( $\tau = 45^\circ$  untuk polarisasi lingkaran).

V adalah vertikal

H adalah horisontal



GAMBAR 2.4<sup>10</sup>  
REDAMAN SPESIFIK HUJAN

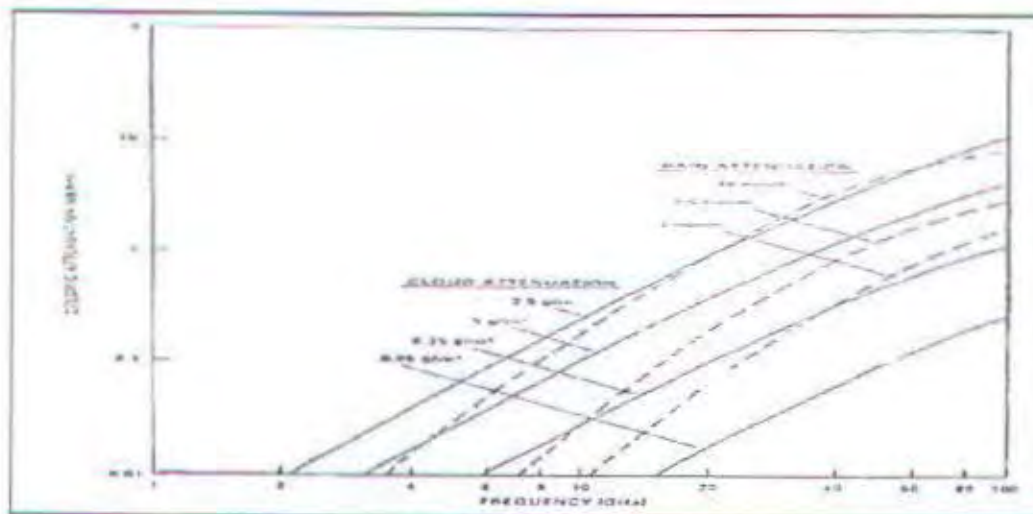
<sup>10</sup> Liana J. Ippolito, PROPAGATION EFFECTS HANDBOOK FOR SYSTEMS DESIGN (A Summary of Propagation Impairments on 10 to 100 GHz Satellite Links with Techniques for System Design, NASA Reference Publication 1082(04), 1989), p. 2-14



TABEL 2.3<sup>11</sup>  
 DAFTAR KOEFISIEN  $k$  DAN  $\alpha$  UNTUK POLARISASI VERTIKAL  
 DAN HORIZONTAL

Frekuensi (GHz)	$k_H$	$k_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0,000387	0,000352	0,912	0,880
2	0,000134	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,979	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929
45	0,442	0,393	0,903	0,897
50	0,536	0,479	0,873	0,868
60	0,707	0,642	0,826	0,824
70	0,851	0,784	0,793	0,793
80	0,975	0,906	0,769	0,769
90	1,06	0,999	0,753	0,754
100	1,12	1,06	0,743	0,744
120	1,18	1,13	0,731	0,732
150	1,31	1,27	0,710	0,711
200	1,35	1,42	0,689	0,690
300	1,36	1,35	0,688	0,689
400	1,32	1,31	0,683	0,684

<sup>11</sup> CCIR, Report 721-3, ATTENUATION BY HYDROMETEORS, IN PARTICULAR PRECIPITATION, AND OTHER ATMOSPHERIC PARTICLES (Recommendation of CCIR), p. 250



GAMBAR 2.5<sup>12</sup>  
PERBANDINGAN REDAMAN SPESIFIK AWAN  
TERHADAP REDAMAN SPESIFIK HUJAN

### 2.2.6.3. REDAMAN PADA LINTASAN MIRING

Redaman total pada lintasan miring yang disebabkan oleh hujan dengan intensitas  $R$  mm/h sepanjang lintasan efektif adalah:

$$A_{\theta} = \frac{L}{\sin \theta} \cdot \gamma_R \quad (2.48)$$

dimana,

$\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)

Panjang lintasan efektif mempunyai pengertian panjang lintasan perambatan sinyal yang dilalui hujan. Jika panjang lintasan efektif pendek, intensitas curah hujan di sepanjang lintasan dapat dianggap homogen. Tetapi jika panjang lintasan efektif cukup panjang, intensitas curah hujan dapat menjadi heterogen. Sehingga

<sup>12</sup> Ittipoons, L. J., op cit, p. 38

redaman total dinyatakan sebagai jumlahan redaman di sepanjang lintasan propagasi, yaitu:

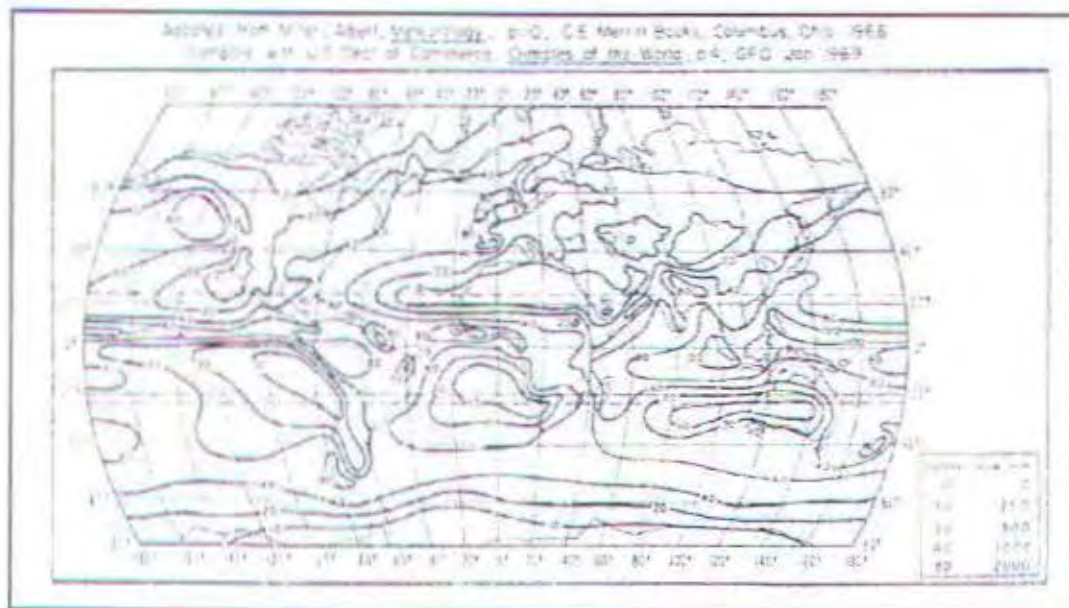
$$\begin{aligned} A_{\theta} &= \frac{L_1}{\sin \theta} \cdot k \cdot R_1^{\alpha} + \frac{L_2}{\sin \theta} \cdot k \cdot R_2^{\alpha} + \dots \\ &= \frac{k}{\sin \theta} \sum_{i=1}^N L_i R_i^{\alpha} \end{aligned} \quad (2.49)$$

#### 2.2.6.4. MODEL REGIONAL

Data-data yang digunakan dalam penyusunan distribusi intensitas curah hujan model regional baik dengan model CCIR, model Global Crane maupun Rice-Holmberg berdasarkan data-data yang diperoleh dari badan meteorologi Amerika Serikat, beberapa negara Eropa dan Asia. Dalam peramalan metode redaman hujan yang sesungguhnya, dibutuhkan distribusi intensitas curah hujan dari lokasi yang bersangkutan. Hal ini akan menimbulkan masalah yang cukup serius jika data curah hujan yang dibutuhkan dalam penyusunan redaman hujan tidak tersedia. Data pengukuran curah hujan beberapa lokasi di Eropa dapat dilihat pada lampiran 2. Berdasarkan data iklim tahunan suatu tempat, dapat dibuat model statistik intensitas curah hujan tahunan. Statistik intensitas curah hujan tahunan digunakan untuk menghitung redaman spesifik yang disebabkan hujan pada sistem komunikasi pada frekuensi diatas 10 GHz.

Model curah hujan pada permukaan bumi dikembangkan dalam bentuk intensitas curah hujan dimana pengembangannya dilakukan oleh Rice-Holmberg.





GAMBAR 2.6<sup>13</sup>  
 PETA HARGA RATA-RATA CURAH HUJAN DUNIA  
 MODEL RICE HOLMBERG



GAMBAR 2.7<sup>14</sup>  
 HARGA PARAMETER  $\beta$

<sup>13</sup> Rice, R. Holmberg, CUMULATIVE TIME STATISTICS OF SURFACE-POINT RAINFALL RATES (IEEE, Transactions on Communications, Vol. Com-21, No. 10, October 1973), p. 1133

<sup>14</sup> Ibid., p. 1134

Model ini mengambil data lebih dari seratus lima puluh tempat di dunia. Model Rice-Holmberg ini dibagi dalam dua tipe yaitu model hujan angin ribut yang disertai oleh petir dan guntur (*thunderstorm rain*) dan model hujan yang lainnya. Dimana modelnya merupakan penjumlahan fungsi eksponensial yang diberikan fungsinya dalam persen rata-rata tahunan yaitu:

$$P(R)\% = \frac{M}{87,66} \left[ 0,03 \cdot \beta \cdot e^{-0,03 R} + 0,2 \cdot (1 - \beta) \cdot (e^{-0,258 R} + 1,86 \cdot e^{-1,63 R}) \right] \quad (2.50)$$

dimana,

$P(R)\%$  adalah nilai persen rata-rata tahunan

$R$  adalah laju curah hujan (mm/h)

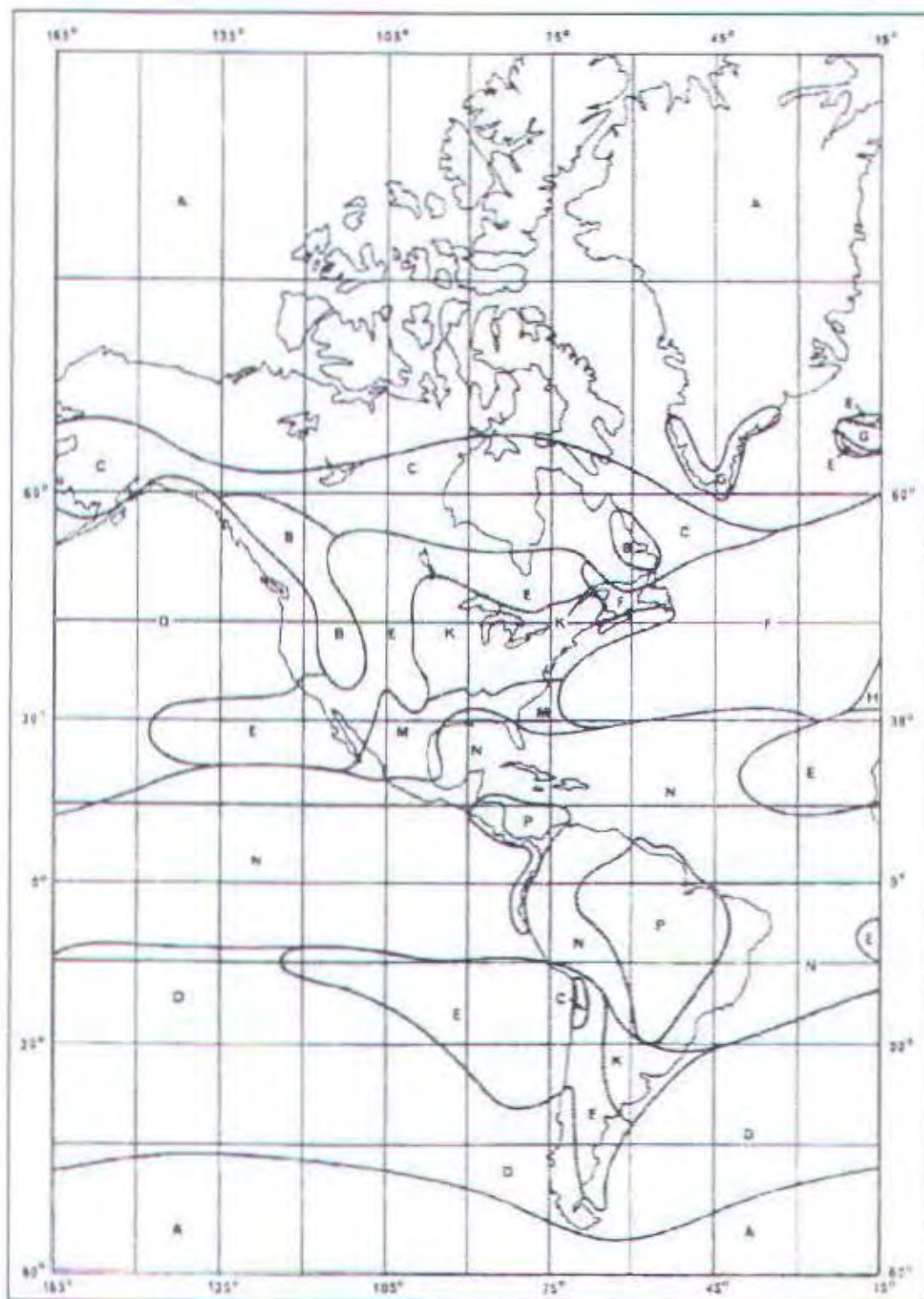
$M$  adalah rata-rata curah hujan (mm)

$\beta$  adalah thunderstorm ( $M_1/M$ )

$M_1$  adalah rata-rata hujan angin ribut yang disertai petir (mm)

Harga-harga dari  $M$ ,  $M_1$ , dan  $\beta$  dapat dicari dengan menggunakan pengukuran dan data curah hujan dapat diperoleh dari peta dunia tentang curah hujan seperti pada gambar 2.6 dan gambar 2.7, tetapi kalau bisa menggunakan pengukuran. Tabel 2.4 menunjukkan distribusi curah hujan Rice-Holmberg di beberapa negara Eropa. Berdasarkan model global dari Rice-Holmberg, CCIR mengembangkan model daerah iklim hujan global untuk seluruh belahan bumi ke dalam lima belas daerah iklim. Gambar 2.8, 2.9 dan 2.10 menunjukkan daerah iklim hujan di seluruh permukaan bumi dari CCIR. Sedang tabel 2.5 menunjukkan distribusi curah hujan dari ke lima belas daerah iklim CCIR.

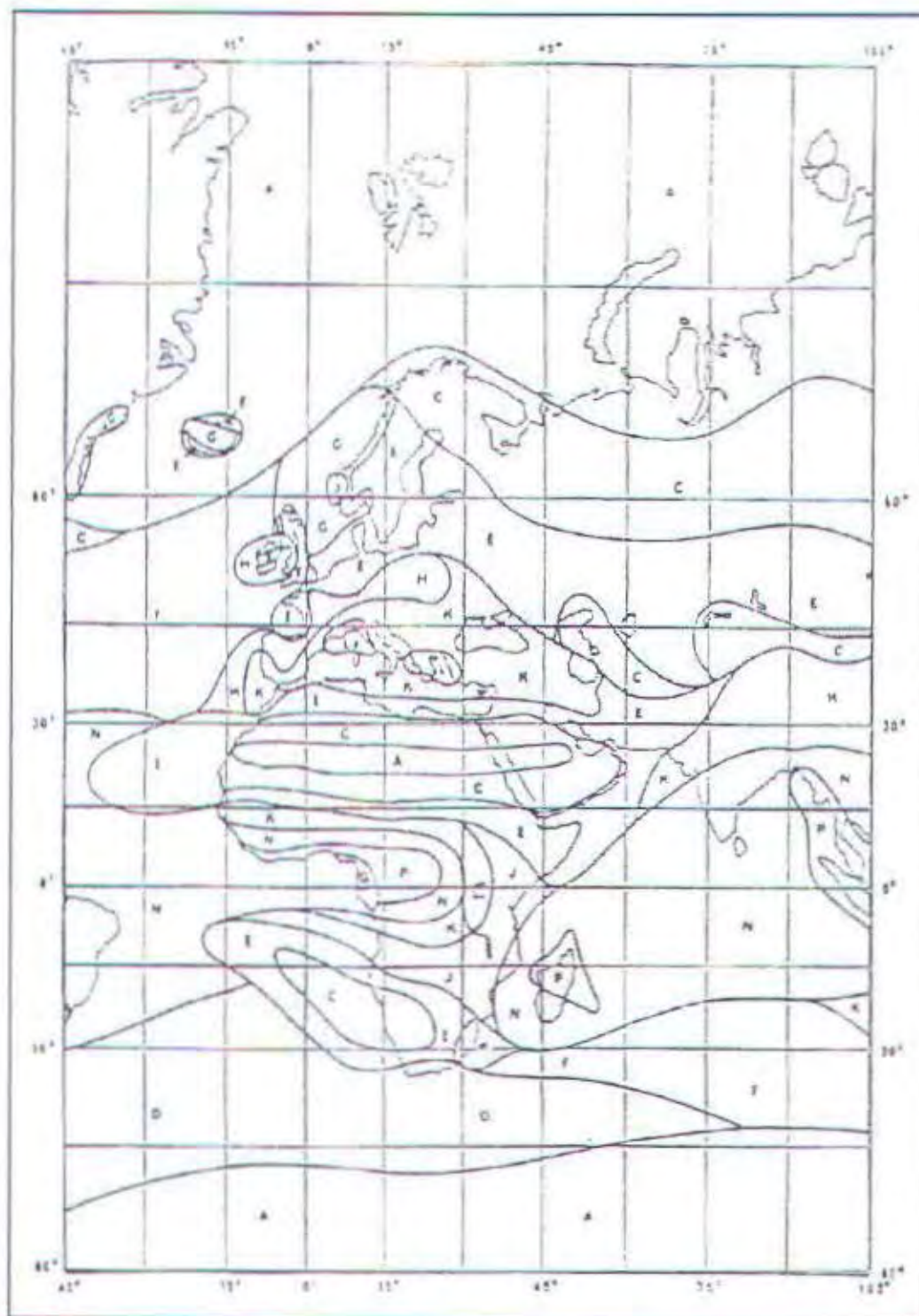




GAMBAR 2.8<sup>15</sup>  
CURAH HUJAN CCIR

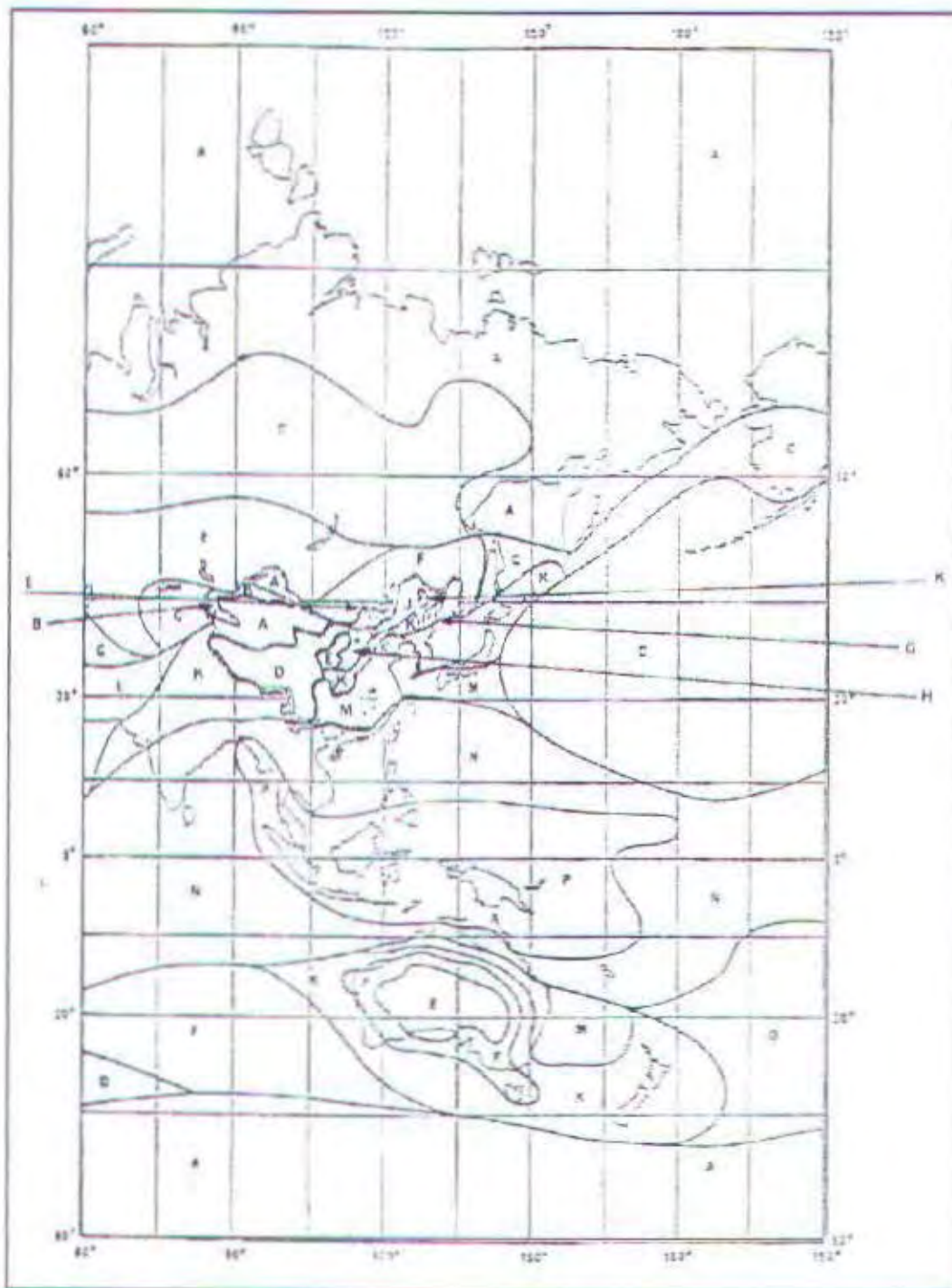
<sup>15</sup> CCIR Report 563-4, RADIO METEOROLOGICAL DATA (Recommendation of CCIR), p. 127.





GAMBAR 2.9<sup>16</sup>  
CURAH HUJAN CCIR LANJUTAN 1

<sup>16</sup> Ibid., p. 328



GAMBAR 2.10<sup>17</sup>  
CURAH HUJAN CCIR LANJUTAN 2

<sup>17</sup> Ibid., p. 129

TABEL 2.4<sup>18</sup>  
MODEL CURAH HUJAN RICE-HOLMBERG

Lokasi	M (mm)	$\beta$	Pengukuran R0,01 (mm/h)	Rice-Holmberg R0,01 (mm/h)
Kirkkonummi	530	0,10	31,20	25,4
Albertslund	600	0,07	25,00	23,6
Eindhoven	770	0,10	31,00	33,3
Oberpfaffenhofen	900	0,10	37,20	37,9
Darmstadt	600	0,09	24,55	26,1

TABEL 2.5<sup>19</sup>  
DISTRIBUSI CURAH HUJAN CCIR

Prosentase Waktu (%)	Distribusi curah hujan (mm/h)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,010	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,030	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,100	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,300	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
1,000	0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24

<sup>18</sup> Dismayanti, Alim, Haidar, op cit p. 133

<sup>19</sup> CCIR Report 661-4, op cit p. 133



TABEL 2.6<sup>20</sup>  
DISTRIBUSI CURAH HUJAN GLOBAL CRANE

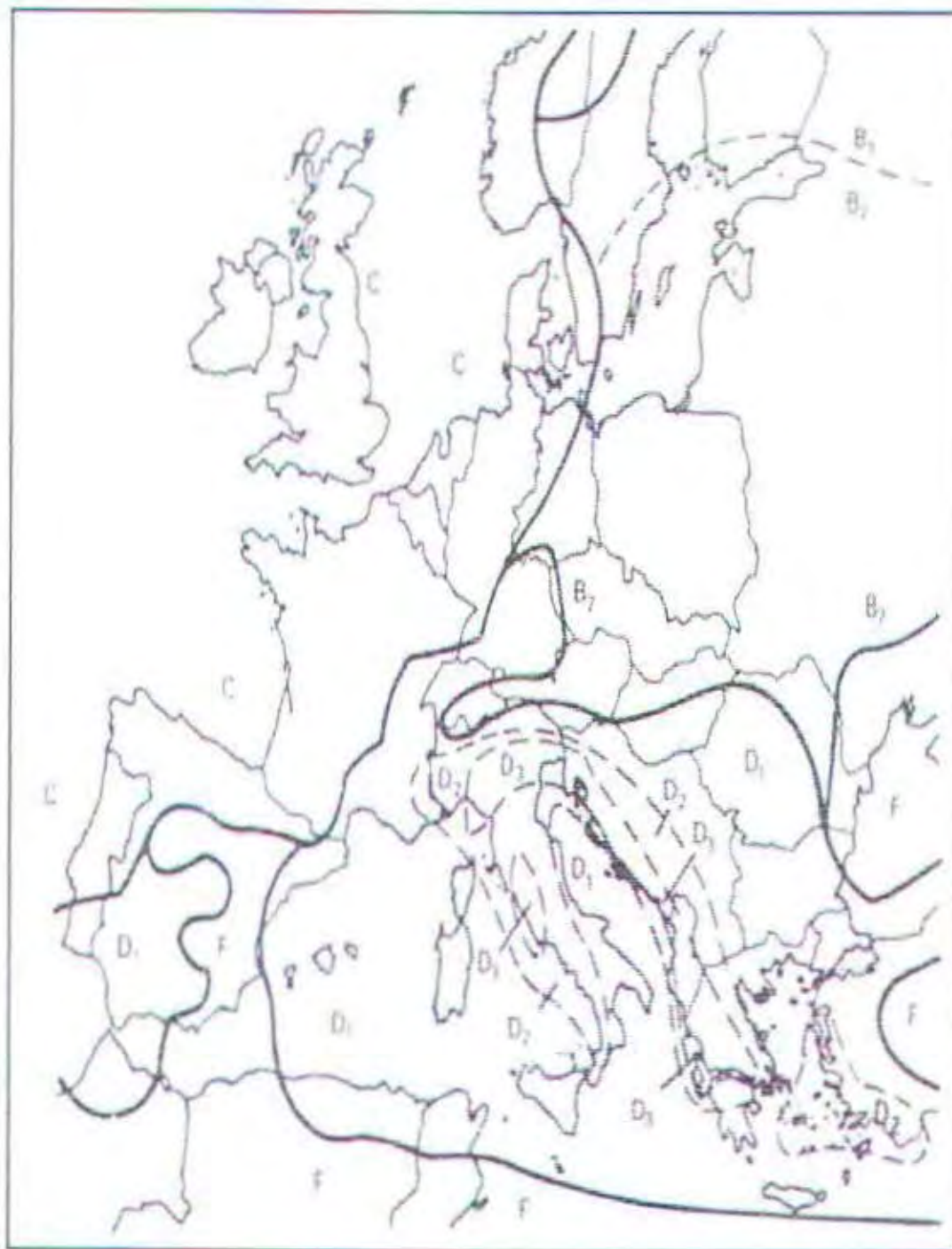
Prosentase per Tahun (%)	DAERAH IKLIM HUJAN (mm/h)										Menit per Tahun	Jam per Tahun
	A	B	C	D1	D2=D	D3	E	F	G	H	Tahun	Tahun
0,001	28	54	80	90	102	127	164	56	129	251	251	251
0,002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220	220	220
0,005	19	26	41	50	64	81	117	34	85	178	178	178
0,010	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147	147	147
0,020	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115	115	115
0,050	8,0	9,5	11	16	22	31	52	8,0	33	77	77	77
0,100	5,5	6,8	7,2	11	15	22	35	5,5	22	51	51	51
0,200	4,0	4,8	4,8	7,5	9,5	14	21	3,2	14	31	31	31
0,500	2,5	2,7	2,8	4,0	5,2	7,0	8,5	1,2	7,0	13	13	13
1,000	1,7	1,8	1,9	2,2	3,0	4,0	4,0	0,8	3,7	6,4	6,4	6,4



GAMBAR 2.11<sup>21</sup>  
DAERAH IKLIM HUJAN GLOBAL CRANE

<sup>20</sup> Louis J. Hypolite, op cit, p. 3-20

<sup>21</sup> Ibid., p. 3-22



GAMBAR 2.12<sup>22</sup>  
DAERAH IKLIM HUJAN GLOBAL CRANE UNTUK EROPA

<sup>22</sup> Ibid., p. 134



Dalam pengembangan model iklim hujan global untuk perancangan sistem komunikasi, Crane menetapkan delapan daerah iklim hujan global yang menunjukkan variasi intensitas curah hujan. Gambar 2.11 menunjukkan daerah iklim hujan dari Crane untuk seluruh dunia dan gambar 2.12 menunjukkan daerah iklim hujan Global untuk daerah Eropa sebelah barat. Sedang distribusi intensitas curah hujan global Crane ditunjukkan pada tabel 2.6

Penentuan distribusi intensitas curah hujan merupakan langkah awal dalam perhitungan redaman hujan. Jika distribusi intensitas curah hujan untuk suatu lokasi telah dapat diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung redaman hujan. Secara umum metode peramalan redaman propagasi karena hujan dapat dituliskan dalam bentuk:

$$A = k.R^{\alpha} L \quad (2.51)$$

dimana,

R adalah intensitas curah hujan

$\alpha, k$  adalah konstanta redaman hujan fungsi frekuensi

L adalah parameter panjang lintasan efektif

A adalah redaman hujan (dB)

#### 2.2.6.5. METODE REDAMAN HUJAN

Besar redaman hujan terhadap sinyal gelombang mikro dapat diperkirakan dengan memakai metode perkiraan redaman. Pada umumnya metode perkiraan menggunakan distribusi komulatif intensitas curah hujan untuk mendapatkan



perkiraan redaman. Berikut ini dijelaskan tiga buah metode perkiraan redaman hujan, yaitu metode ITU-R, metode Crane dan metode DAH.

## 1. METODE ITU-R

ITU-R mengembangkan suatu metode untuk menghitung redaman oleh hujan pada lintasan miring. Metode ITU-R ini merupakan publikasi dari *Recommendation CCIR 564-4* (CCIR 1990), *Recommendation ITU-R P.618-4* (ITU-R 1995) dan *Draft Revision of Recommendation ITU-R P.618-4* (ITU-R 1997). Beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah:

- $R_{0,01}$  adalah intensitas curah hujan pada lokasi bersangkutan untuk 0,01% waktu dari satu tahun rata-rata (mm/h)
- $h_s$  adalah tinggi stasiun bumi di atas permukaan air laut (km)
- $\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)
- $\phi$  adalah posisi garis lintang dari stasiun bumi (derajat)
- $f$  adalah frekuensi (GHz)

Adapun langkah-langkah perhitungan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

*Langkah 1:*

Tinggi hujan  $h_R$  dihitung berdasarkan posisi garis lintang bumi dari stasiun:

$$h_R = \begin{cases} 3 + 0,028\phi & 0 \leq \phi \leq 36^\circ \\ 4 - 0,075(\phi - 36) & \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (2.52)$$

Langkah 2:

Untuk  $\theta \geq 5^\circ$ , panjang lintasan miring  $L_s$  di bawah tinggi hujan diperoleh dari:

$$L_s = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \quad (2.53)$$

untuk  $\theta < 5^\circ$ , harus menggunakan rumus:

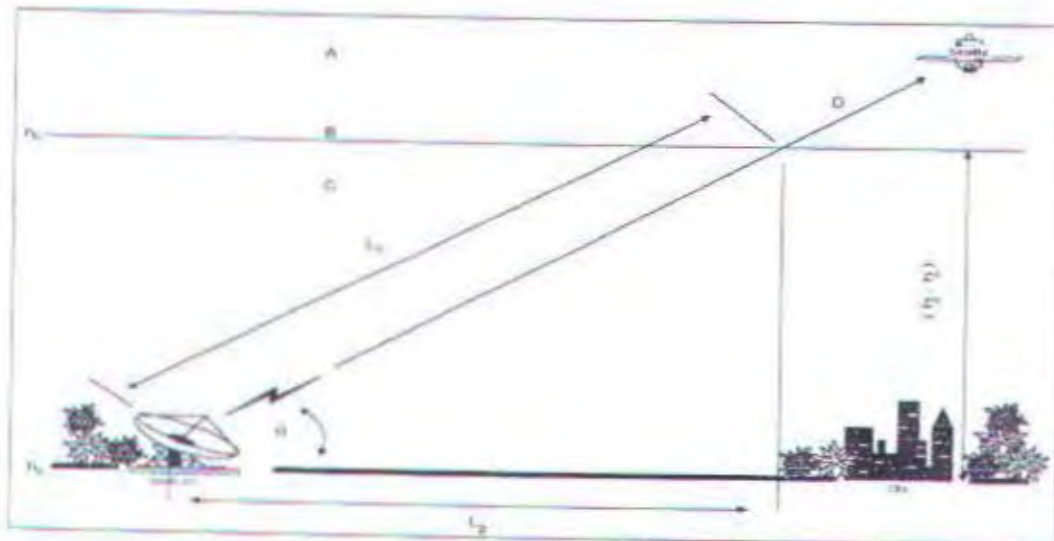
$$L_s = \frac{2(h_R - h_S)}{\left( \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e} \right)^{1/2}} + \sin \theta \quad (2.54)$$

dengan  $R_e$  adalah jari-jari efektif bumi (8500 km).

Langkah 3:

Proyeksi horisontal dari lintasan miring,  $L_g$  dapat dilihat pada gambar 2.13:

$$L_g = L_s \cos \theta \quad (2.55)$$



A : presipitasi beku, B : tinggi hujan, C : presipitasi cair, D : lintasan ke ruang angkasa

GAMBAR 2.13<sup>23</sup>  
SKEMA LINTASAN MIRING DENGAN PARAMETER-PARAMETER  
PERHITUNGAN

<sup>23</sup> CCIR Report 564-4, PROPAGATION DATA AND PREDICTION METHODS REQUIRED FOR EARTH-SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEMS (Recommendation of CCIR), p. 434

langkah 4:

Intensitas curah hujan untuk 0,01% waktu  $R_{0,01}$  ditentukan dari data setempat atau dari perkiraan intensitas curah hujan dengan model regional.

Langkah 5:

Faktor reduksi  $r_{0,01}$  untuk 0,01% waktu :

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{L_g}{L_o}} \quad (2.56)$$

dengan,

$$L_o = 35 \cdot \exp(-0,015 \cdot R_{0,01}) \quad (2.57)$$

Langkah 6:

Redaman spesifik  $\gamma_R$  dihitung dengan rumus:

$$\gamma_R = k (R_{0,01})^a \quad (2.58)$$

Langkah 7:

Tingkat redaman yang dicapai atau dilampaui untuk 0,01% waktu dari satu tahun rata-rata adalah:

$$A_{0,01} = \gamma_R \cdot L_o \cdot r_{0,01} \quad (2.59)$$

Langkah 8:

Tingkat redaman yang dicapai atau dilampaui untuk berbagai prosentase waktu yang lain:

$$A_p = 0,12 \cdot A_{0,01} \cdot P^{-(0,546+0,043 \log P)} \quad (2.60)$$

dengan P adalah prosentase waktu.



Pada pengembangan berikutnya yaitu pada Rekomendasi ITU-R P.618-4 (ITU-R 1995 dan Draft ITU-R 1997) langkah 5 ditambah persyaratan untuk harga  $R > 100 \text{ mm/h}$  dipakai nilai  $R_{0,01} = 100 \text{ mm/h}$ , dan perhitungan tambahan langkah 9 yaitu dalam mencari prosentase waktu adalah:

$$PR = 10^{11,628 - 0,546 \sqrt{0,298 + 0,172 \log \left( \frac{0,12 A_{0,01}}{A_p} \right)}} \quad (2.61)$$

untuk harga  $A_{0,01}/A_p \geq 0,15$

Tambahan berikutnya adalah langkah 1 pada Draft Rekomendasi ITU-R P.618-4 (ITU-R 1997) untuk persyaratan posisi latitude:

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0,075(\phi - 23) & \phi > 23^\circ \\ 5 & 0^\circ \leq \phi \leq 23^\circ \\ 5 & 0^\circ \geq \phi \geq -21^\circ \\ 5 + 0,1(\phi + 21) & -71 \leq \phi < -21^\circ \\ 0 & \phi < -71^\circ \end{cases} \quad (2.62)$$

## 2. METODE CRANE-GLOBAL

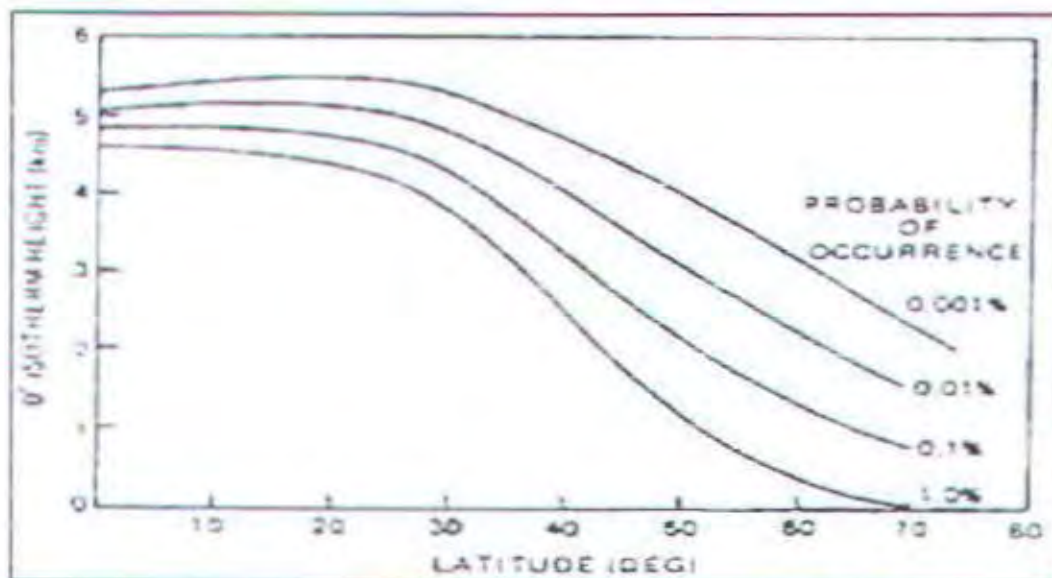
Besar redaman spesifik hujan merupakan fungsi yang tidak linear dari intensitas curah hujan titik, sehingga berdasarkan data-data redaman spesifik saja tidak cukup untuk dapat menghasilkan estimasi besar redaman pada panjang jalur tertentu. Dalam hal ini dibutuhkan suatu model statistik dari intensitas curah hujan sesaat sepanjang jalur propagasi, kemudian mengintegrasikannya untuk memperoleh besar redaman yang diinginkan. Beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah:

- $h_s$  adalah tinggi stasiun bumi di atas permukaan air laut (km)
- $\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)
- $\phi$  adalah posisi garis lintang dari stasiun bumi (derajat)
- $f$  adalah frekuensi (GHz)

Metode Crane menetapkan beberapa langkah dalam peramalan besar redaman propagasi:

*Langkah 1:*

Mendapatkan distribusi intensitas curah hujan tahunan  $R_p$  pada prosentase waktu antara 0,001% hingga 1% dari rata-rata tahunan, pada lokasi yang bersangkutan. Jika data-data distribusi intensitas curah hujan tidak dapat diperoleh, dapat digunakan distribusi intensitas curah hujan global dari Crane.



GAMBAR 2.14<sup>24</sup>  
KETINGGIAN HUJAN 0°C ISOTHERMIC MODEL CRANE

<sup>24</sup> Louis E. Appleton, op cit, p. 6-27.

*Langkah 2:*

Tinggi hujan  $h_R(p)$  untuk masing-masing prosentase waktu diperoleh dari gambar 2.14.

*Langkah 3:*

Proyeksi panjang lintasan  $L_g$  untuk masing-masing prosentase waktu dihitung menurut persamaan:

$$L_g = \frac{h_R(p) - h_R}{\tan \theta} \quad \text{km} \quad (2.63)$$

untuk  $\theta \geq 10^\circ$

$$L_g = R_e \sin^{-1} \left[ \frac{\cos \theta}{h_R(p) + R_e} \sqrt{(h_s + R_e) \sin^2 \theta + 2R_e(h_R(p) - h_s) + h_R^2(p) - h_s^2} - (h_s + R_e) \sin \theta \right] \quad (2.64)$$

untuk  $\theta < 10^\circ$ .

*Langkah 4:*

Koefisien redaman spesifik  $k$  dan  $\alpha$  dihitung sesuai dengan ketentuan ITU-R seperti pada tabel 2.3.

*Langkah 5:*

Empat konstanta empiris yang bergantung pada harga  $R_p$  ditentukan dari persamaan berikut:

$$d = 3,8 - 0,6 \ln R_p \quad (2.65)$$

$$x = 2,3 R_p^{-0,17} \quad (2.66)$$

$$y = 0,026 - 0,03 \ln R_p \quad (2.67)$$

$$U = \frac{\ln(x \cdot e^{y \cdot d})}{d} \quad (2.68)$$



*Langkah 6:*

Redaman pada lintasan miring untuk berbagai harga  $P$  adalah:

$$\blacksquare A(p) = \frac{k \cdot R_p^{\alpha}}{\cos \theta} \left[ \frac{e^{\frac{U_{ad} L_g}{U \alpha}} - 1}{U \alpha} \right] \quad (2.69)$$

untuk  $0 < L_g \leq d$

$$\blacksquare A(p) = \frac{k \cdot R_p^{\alpha}}{\cos \theta} \left[ \frac{e^{\frac{U_{ad} L_g}{U \alpha}} - 1}{U \alpha} - \frac{x \cdot e^{\frac{y_{ad}}{y \alpha}}}{y \alpha} + \frac{x^2 e^{\frac{y_{ad} L_g}{y \alpha}}}{y \alpha} \right] \quad (2.70)$$

untuk  $d < L_g \leq 22,5$

- $A(p)$  dihitung menurut persamaan (2.70) dengan  $h_g = 22,5$  dan  $R_p$  diganti dengan  $R_p'$  dengan harga  $p'$  diperoleh dari:

$$p' = p \left[ \frac{22,5}{L_g} \right] \quad (2.71)$$

untuk  $L_g > 22,5$

TABEL 2.7<sup>25</sup>  
NILAI STANDAR DEVIASI

Prosentase Waktu (%)	Standar Deviasi (%)
0,001	39
0,010	32
0,100	32
1,000	± 39

<sup>25</sup> Louis J. Ippolito, *It's up to you*, p. 217

*Langkah 7 :*

Mengestimasi harga batas atas dan batas bawah untuk semua harga redaman karena hujan  $A(p)$  dengan tabel 2.7.

### 3. METODE DAH

Metode DAH dikembangkan oleh Dissanayake, Allnutt dan Haidara. Metode DAH menggunakan beberapa parameter perhitungan yang sama dengan ITU-R. Parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan metode ini adalah:

$\phi$  adalah posisi garis lintang dari stasiun bumi (derajat)

$h_a$  adalah tinggi stasiun bumi dari permukaan air laut (km)

$\theta$  adalah sudut elevasi (derajat)

$\xi$  adalah sudut polarisasi (derajat)

$f$  adalah frekuensi (GHz)

$R_e$  adalah radius efektif bumi (8500 km)

Adapun langkah-langkah perhitungan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

*Langkah 1:*

Tinggi hujan  $h_R$  dihitung berdasarkan posisi garis lintang dari stasiun bumi:

$$h_R = \begin{cases} 5 & 0^\circ < \phi < 23^\circ \\ 5 - 0,075(\phi - 23) & \phi \geq 23^\circ \end{cases} \quad (2.72)$$

Langkah 2:

Untuk  $\theta \geq 5^\circ$ , panjang lintasan miring  $L_s$  di bawah tinggi hujan diperoleh dari:

$$L_s = \frac{h_R - h_s}{\sin \theta} \quad \text{km} \quad (2.73)$$

untuk  $\theta < 5^\circ$ , harus menggunakan rumus:

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left( \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \quad \text{km} \quad (2.74)$$

dengan  $R_e$  adalah jari-jari efektif bumi (8500 km).

Langkah 3:

Proyeksi horisontal dari lintasan miring,  $L_g$  dapat dilihat pada gambar 2.13:

$$L_g = L_s \cdot \cos \theta \quad \text{km} \quad (2.75)$$

Langkah 4:

Redaman spesifik  $\gamma_R$  dihitung dengan rumus:

$$\gamma_R = k (R_{0,01})^a \quad \text{dB/km} \quad (2.76)$$

Langkah 5:

Menghitung lintasan horisontal untuk 0,01% waktu:

$$rh_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 \sqrt{\frac{L_g \gamma_R}{f}} - 0,38 [1 - \exp(-2L_g)]} \quad (2.77)$$

Langkah 6:

Menghitung panjang lintasan  $L_r$  (km) hujan:

$$L_r = \frac{L_g \cdot rh_{0,01}}{\cos \theta} \quad (2.78)$$



untuk  $\xi > \theta$

$$L_s = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \quad (2.79)$$

untuk  $\xi \leq \theta$

Langkah 7:

Menghitung lintasan vertikal 0,01% waktu:

$$rv_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[ 31(1 - e^{-\theta/(1+\xi)}) \sqrt{\frac{L_s \gamma_R}{f^2}} - 0,45 \right]} \quad (2.80)$$

dimana:

$$x = 36 \cdot |\phi| \quad \text{untuk } |\phi| < 36^\circ$$

$$x = 0 \quad \text{untuk } |\phi| \geq 36^\circ$$

Langkah 8:

Panjang lintasan efektif oleh hujan  $L_e$  (km) diberikan dengan persamaan:

$$L_e = L_s \cdot rv_{0,01} \quad (2.81)$$

Langkah 9:

Tingkat redaman yang dicapai untuk 0,01% waktu dari satu tahun rata-rata adalah:

$$A_{0,01} = \gamma_R \cdot L_e \quad \text{dB} \quad (2.82)$$

Langkah 10:

Tingkat redaman yang dicapai untuk berbagai prosentase waktu yang lain:

$$A_p = A_{0,01} \left( \frac{p}{0,01} \right)^{-\left[ 0,655 + 0,033 \ln p - 0,045 \ln A_{0,01} - k \sin \theta (1-p) \right]} \quad \text{dB} \quad (2.83)$$

dimana  $P$  adalah prosentase probabilitas yang akan dihitung dengan ketentuan:

untuk  $P \geq 1\%$ , maka:  $z = 0$

untuk  $P < 1\%$ , maka:

$$z = 0, \quad \text{untuk } I\phi \geq 36^\circ$$

$$z = -0,005(I\phi - 36), \quad \text{untuk } \theta \geq 25^\circ \text{ dan } I\phi < 36^\circ$$

$$z = -0,005(I\phi - 36) + 1,8 - 4,25\sin\theta, \quad \text{untuk } \phi < 25^\circ \text{ dan } I\phi < 36^\circ$$

Penggunaan metode peramalan pada dasarnya adalah untuk mempermudah pendesainan suatu sistem komunikasi dengan menghitung karakteristik redaman propagasi karena hujan pada suatu jalur komunikasi. Namun untuk dapat menentukan dari beberapa metode yang ada untuk dapat diterapkan dalam peramalan redaman hujan, maka hasil peramalan dari beberapa metode yang ada perlu dibandingkan dengan hasil pengukuran di tiap-tiap lokasi dengan menggunakan rumus:

$$e_i = \frac{A_{pi} - A_{mi}}{A_{mi}} \times 100 \quad (2.84)$$

dimana,

$A_p$  menunjukkan hasil perhitungan redaman (dB)

$A_m$  menunjukkan hasil pengukuran redaman (dB)

$i$  menunjukkan prosentase dari level probabilitas dimana kesalahan perhitungan diperkirakan.

*Root Mean Square (rms) error* digunakan untuk menentukan kesesuaian antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan dengan rumus:

$$e_{rms} = \sqrt{\langle e_i^2 \rangle} \quad (2.85)$$

dimana,

$\langle \rangle$  menyatakan harga rata-rata

### 2.3. STASIUN BUMI RAGAM TEMPAT (SITE DIVERSITY)

Kondisi alam menunjukkan bahwa sel daerah hujan suatu tempat mempunyai ukuran yang terbatas. Artinya keadaan ini memberikan kemungkinan bahwa hujan hanya terjadi pada suatu daerah tertentu saja, atau sering dikatakan dengan adanya hujan lokal. Dengan memanfaatkan kondisi tersebut maka pengoperasian stasiun bumi ragam tempat dapat dilakukan.

Tujuan dari pengoperasian stasiun bumi ragam tempat adalah untuk mengatasi redaman hujan yang relatif tinggi, yaitu dengan cara menempatkan beberapa stasiun bumi di tempat-tempat (*site*) yang berbeda dengan jarak beberapa puluh kilometer. Masing-masing stasiun bumi ragam tempat terdiri dari sepasang stasiun bumi. Satu stasiun bumi berfungsi sebagai stasiun bumi primer dan pasangannya berfungsi sebagai stasiun bumi sekunder. Stasiun bumi primer di dalam sistem stasiun bumi ragam tempat dapat juga dikatakan sebagai stasiun bumi utama. Sedangkan stasiun bumi sekunder merupakan stasiun bumi cadangan yang akan beroperasi jika stasiun bumi primer tidak dapat berfungsi sebagai akibat dari pengaruh redaman hujan yang sangat besar.

Agar kinerja dari pengoperasian stasiun bumi ragam tempat dapat optimal, maka jarak antara stasiun bumi primer dengan stasiun bumi sekunder harus



memenuhi syarat bahwa kemungkinan untuk terjadinya hujan (lebat) pada saat yang bersamaan di kedua lokasi stasiun bumi adalah kecil. Dengan kata lain jarak pemisah yang diperlukan harus lebih besar dari luas/lebar cakupan hujan.

## 2.4. PERKIRAAN RASIO PENYEKALAN FREKUENSI

Variabel-variabel pengujian, untuk perbandingan penyekalaan frekuensi jangka panjang  $r$ , antara redaman pada dua frekuensi ditentukan sebagai perbandingan antara harga redaman pada probabilitas yang sama yang terjadi selama periode pengukuran yang benar-benar konkuren.

Adapun metode-metode yang dipakai adalah:

- CCIR1 (Rep. 721-2, 1986)
- FIXED EFFECTIVE RAIN (COST 205, 1985)
- VARIABLE EFFECTIVE RAIN (COST 205, 1985)
- CCIR2 (Rec. 530-4, 1992)

Semua metode didasarkan pada rumus:

$$r = \frac{A_2}{A_1} = \frac{g(f_2)}{g(f_1)} \quad (2.86)$$

dimana angka 2 itu menunjukkan frekuensi yang lebih tinggi, angka 1 menunjukkan frekuensi yang lebih rendah dan fungsi  $g(f)$  ditentukan dengan:

- CCIR1:

$$g(f) = \frac{f^{1.72}}{1 + 3 \times 10^{-7} f^{3.44}} \approx f^{1.72} \quad (2.87)$$

■ EFFECTIVE RAIN:

$$g(f) = k(f, pol) R^{\alpha(f, pol)} \quad (2.88)$$

dimana  $k$  dan  $\alpha$  adalah konstanta intensitas hujan untuk redaman spesifik dan  $R$  adalah hujan efektif yang besarnya:

$$R = 66 \text{ mm/h}$$

untuk metode FEXED RAIN:

$$R = 5,78 \left( \frac{A_1^{0,39}}{k_1^{0,39} \eta} \right) \approx 5,78 \left( \frac{A_1}{k_1} \right)^{0,39} \quad (2.89)$$

dengan,

$$\eta \approx 1$$

untuk metode VARIABLE EFFECTIVE RAIN:

■ CCIR2:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{g(f_2)}{g(f_1)} = \left[ \frac{\phi_2}{\phi_1} \right]^{1-11(\phi_2, \phi_1, f_2, f_1)} \quad (2.90)$$

dengan,

$$\phi(f) = \frac{f^2}{1+10^4 f^2} \quad (2.91)$$

$$H = 1,12 \times 10^{-3} \left( \frac{\phi_2}{\phi_1} \right)^{0,3} (\phi_1 A_1)^{0,55} \quad (2.92)$$

Kesalahan untuk mengevaluasi metode-metode ini ditentukan sebagai:

$$E = \frac{P_{prediksi} - P_{pengukuran}}{P_{pengukuran}} \times 100 \quad (2.93)$$

## 2.5. SUDUT ELEVASI DAN AZIMUTH SATELIT

Untuk menentukan lokasi satelit geostasioner terhadap stasiun bumi, maka harus mendefinisikan letak satelit tersebut dalam dua parameter yaitu sudut elevasi stasiun bumi dan sudut azimuth.

### 2.5.1. SUDUT ELEVASI

Sudut elevasi didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara garis satelit ke stasiun bumi dengan garis tengah lurus dengan jari-jari bumi pada titik stasiun bumi berada. Pada gambar 2.15 menunjukkan geometri dari sudut elevasi stasiun bumi terhadap satelit.

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung sudut elevasi stasiun bumi terhadap satelit adalah:

$$\psi = \sin^{-1} \left( \frac{r_s \sin \gamma}{d} \right) \quad (2.94)$$

dengan,

$$\cos \gamma = \cos L_e \cdot \cos(L_s - L_e) \quad (2.95)$$

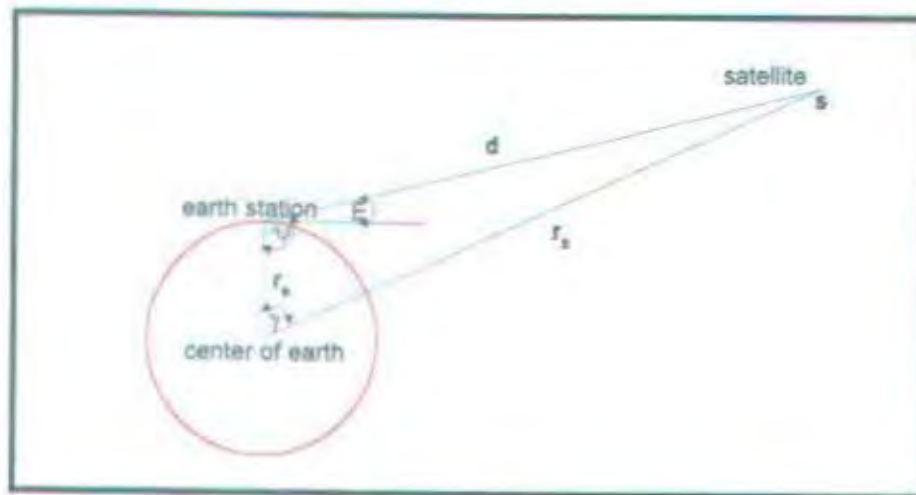
$$d = \sqrt{(r_e^2 + r_s^2 - 2 \cdot r_e \cdot r_s \cdot \cos \gamma)} \quad (2.96)$$

$$\frac{r_s}{\sin \psi} = \frac{d}{\sin \gamma} \quad (2.97)$$

karena sudut  $E$  berhubungan dengan pusat sudut  $\psi$  maka,

$$E = \psi - 90^\circ \quad (2.98)$$





GAMBAR 2.15<sup>26</sup>  
GEOMETRI SUDUT ELEVASI

dimana,

- $L_e$  adalah letak garis lintang stasiun bumi (derajat)
- $L_s$  adalah garis bujur satelit (derajat)
- $l_e$  adalah letak garis bujur stasiun bumi (derajat)
- $d$  adalah jarak stasiun bumi - satelit (42.164,2 km)
- $r_s$  adalah jarak pusat bumi-satelit (km)
- $r_e$  adalah jari-jari bumi (6378,6 km)
- $\gamma$  adalah sudut antara  $r_e$  dan  $r_s$
- $\psi$  adalah sudut antara  $r_e$  dan  $d$
- $E$  adalah sudut elevasi

<sup>26</sup> Timothy, Charles W. / *Hartian, SATELLITE COMMUNICATION* (John Wiley & Sons, New York, 1986), p. 25

### 2.5.2. SUDUT AZIMUTH

Sudut azimuth didefinisikan sebagai sudut yang dihasilkan oleh perpotongan bidang TMP dan TSO melalui kutup utara. Gambar 2.16 menunjukkan geometri sudut azimuth.

Bergantung pada stasiun bumi maka sudut azimuth A dapat dihitung dari persamaan:

■ Daerah bumi bagian utara:

stasiun bumi berada di barat satelit  $A = 180 - A'$

stasiun bumi berada di timur satelit  $A = 180 + A'$

■ Daerah bumi bagian selatan:

stasiun bumi berada di barat satelit  $A = A'$

stasiun bumi berada di timur satelit  $A = 360 - A'$

$$A' = \tan^{-1} \left( \frac{MP}{MT} \right) \quad (2.99)$$

$$A' = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{R_s \tan |l_s - l_e|}{\cos(L_e)}}{R_s \tan(L_e)} \right) \quad (2.100)$$

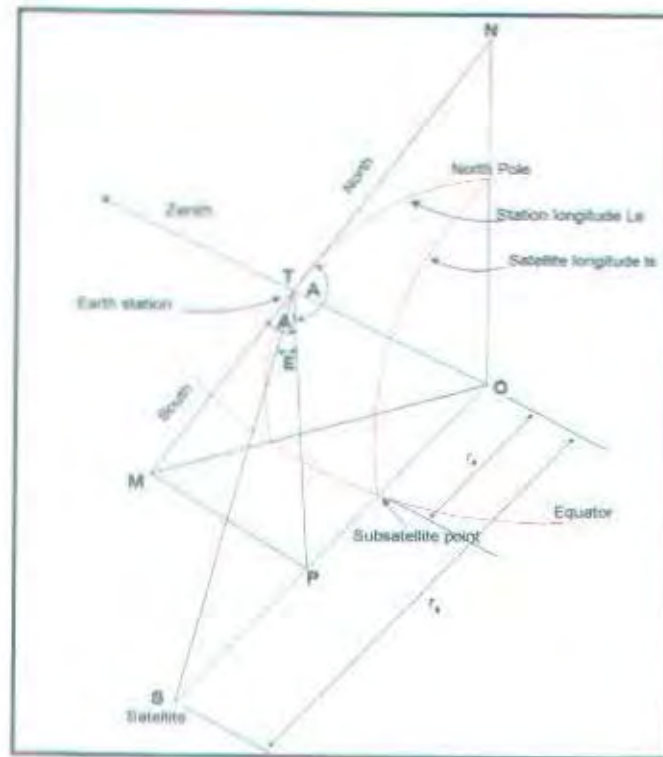
$$A' = \tan^{-1} \left( \frac{\tan |l_s - l_e|}{\sin(L_e)} \right) \quad (2.101)$$

dimana,

$L_e$  adalah garis lintang stasiun bumi (derajat)

$l_s$  adalah garis bujur satelit (derajat)

$l_e$  adalah garis bujur stasiun bumi (derajat)



GAMBAR 2.16<sup>27</sup>  
GEOMETRI SUDUT AZIMUTH

<sup>27</sup> TR T. HA, DIGITAL SATELLITE COMMUNICATIONS (Macmillan Publishing Company, New York, 1986), p. 42

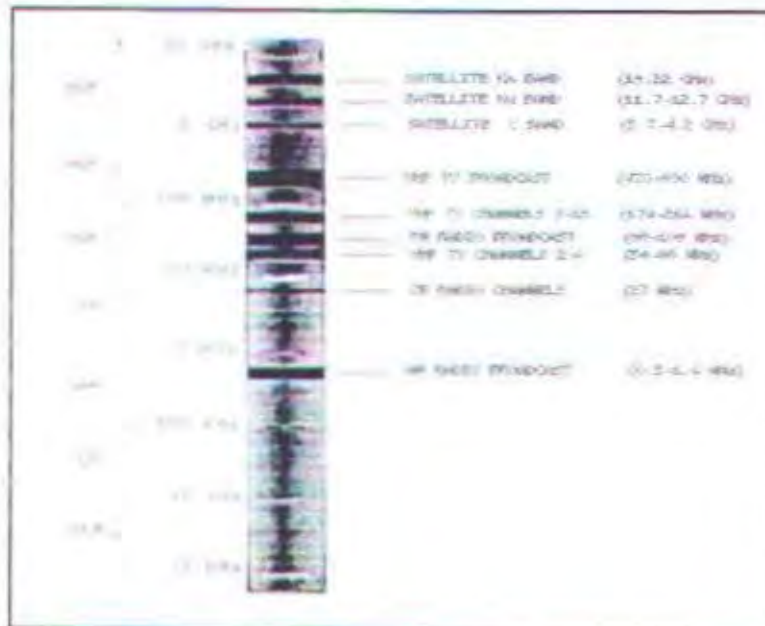


## BAB III

### FREKUENSI Ka-BAND

#### 3.1. UMUM

Komunikasi satelit menggunakan gelombang elektromagnetik untuk membawa informasi antara satelit dan stasiun di bumi. Efek perambatan gelombang radio melalui media ruang angkasa pada sistem komunikasi satelit terutama tergantung pada frekuensi operasi. Badan Internasional Telekomunikasi (ITU) telah mengalokasikan band-band frekuensi untuk berbagai kegunaan yang disebut dengan spektrum elektromagnetik.



GAMBAR 3.1<sup>28</sup>  
SPEKTRUM ELEKTROMAGNETIK

<sup>28</sup> Mark Long, FROM 4 TO 12 GHz: THE EVOLUTION OF SATELLITE TECHNOLOGY (The Ku-band Satellite Handbook), p. 5

Pada gambar 3.1 diperlihatkan suatu spektrum elektromagnetik. Spektrum yang paling bawah yaitu antara 3 KHz hingga 30 KHz, sedangkan spektrum yang paling atas yaitu 3 GHz hingga 30 GHz. Untuk band SHF dibagi atas beberapa sub band seperti C-band, Ku-band dan Ka-band. Tabel 3.1 menunjukkan alokasi band frekuensi satelit. Secara umum penggunaan frekuensi untuk komunikasi satelit adalah pada band-band antara 3 GHz hingga 30 GHz.

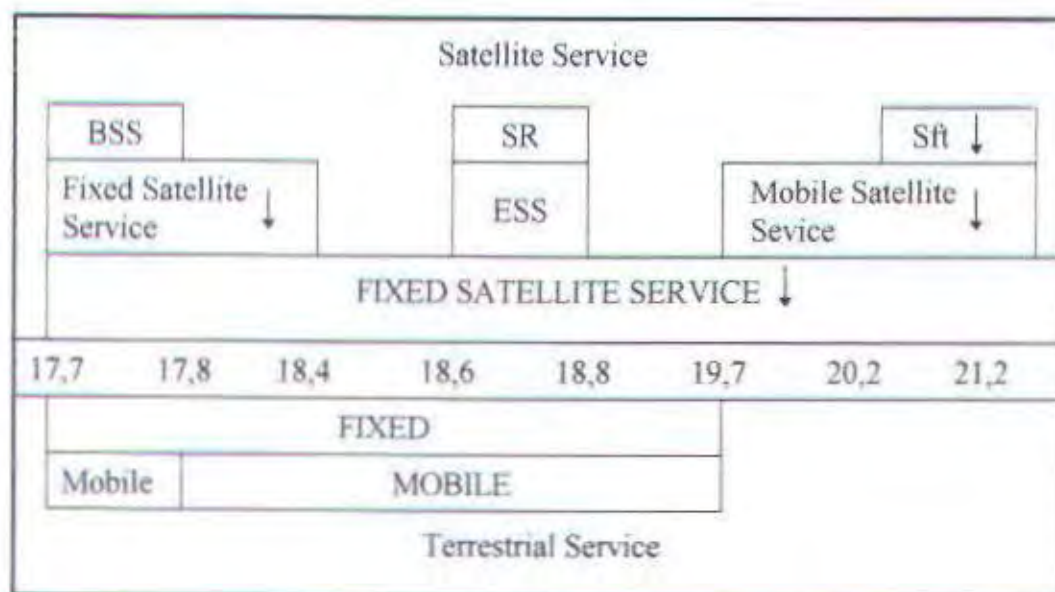
TABEL 3.1<sup>29</sup>  
ALOKASI BAND FREKUENSI SATELIT

Bands	Bandwidth (MHz)	Frequency Range (MHz)	Direction
C	800	3 400 - 4 200	downlink
	800	5 925 - 6 725	uplink
X	500	7 250 - 7 750	downlink
	500	7 900 - 8 400	downlink
Ku	250	10 950 - 11 200	downlink
	250	11 450 - 11 700	downlink
	500	11 700 - 12 200	downlink
	500	12 200 - 12 700	downlink
	750	13 750 - 14 500	uplink
Ka	500	17 300 - 17 800	downlink/uplink
	3 500	17 700 - 21 200	downlink
	4 000	27 000 - 31 000	uplink

<sup>29</sup> Rogers, Ippolito, Davarian, SYSTEM REQUIREMENTS FOR Ka-Band EARTH-SATELLITE PROPAGATION DATA (Proceeding of The IEEE, Vol. 85, No. 6, June 1997), p. 810.

### 3.2. SISTEM Ka-BAND

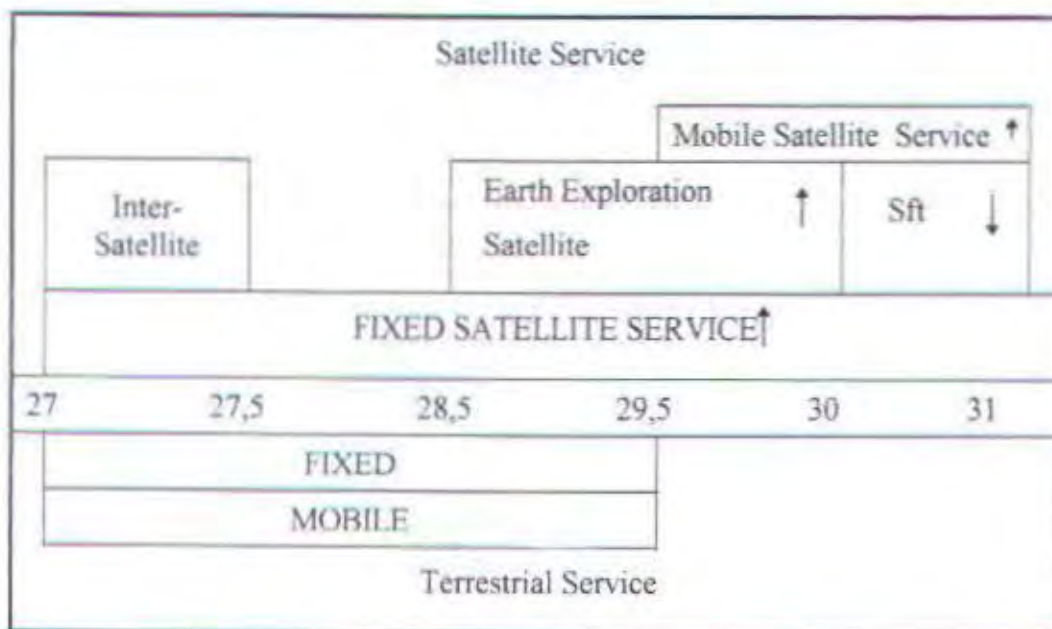
Sejarah dari komunikasi satelit dengan Ka-band dimulai dengan adanya pengukuran beacon tahun tujuh puluhan yaitu untuk mengetahui karakteristik dari pengaruh perambatan khususnya oleh hujan yang dilakukan oleh satelit Olympus. Operasional dari komunikasi link Ka-band diperkenalkan oleh Jepang pada satelit CS, kemudian diikuti oleh Olympus (ESA, 1989), Intelsat (Italy, 1990) dan ACTS oleh NASA tahun 1993. Alokasi frekuensi Ka-band (20 GHz dan 30 GHz) dari ITU untuk region dua dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3.



BSS = Broadcast Satellite Service  
 SR = Space Research  
 ESS = Earth Exploration Satellite  
 Sft = Standard frequency and Time Signal  
 ↑ Earth- to-space    ↓ Space-to-earth

GAMBAR 3.2<sup>30)</sup>  
ALOKASI FREKUENSI 20 GHz





Sft = Standard frequency and Time Signal  
 ↑ Earth- to-space ↓ Space-to-earth

GAMBAR 3.3<sup>31</sup>  
 ALOKASI FREKUENSI 30 GHz

### 3.3. KEUNTUNGAN PEMAKAIAN FREKUENSI Ka-BAND

Komunikasi pada frekuensi Ka-band memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem yang dijalankan pada band-band frekuensi di bawahnya. Adapun keuntungannya adalah:

#### 3.3.1. Peningkatan bandwidth dan kapasitas penanganan data.

Frekuensi Ka-band memberikan penambahan bandwidth dan kapasitas penanganan data (*data-handling*) untuk sistem komunikasi satelit dan teresterial. Banyak komponen-komponen frekuensi radio (RF) bekerja lebih dari bandwidth

<sup>31</sup> *ibid.*

spesifikasinya, dimana dapat dihubungkan dengan prosentase terhadap frekuensi carriernya. Pembentukan komponen RF untuk beroperasi di atas range frekuensi lebih dari 10% dari frekuensi carrier sangat sukar dan mahal. Frekuensi Ka-band memiliki faktor pendekatan dua lebih besar dibandingkan frekuensi Ku-band dan lima lebih besar jika dibandingkan dengan frekuensi C-band. Sehingga untuk peralatan amplifier dan peralatan-peralatan lainnya dengan ring operasi sekitar 10%, Ka-band memberikan 2000-3000 MHz untuk informasi bandwidth, sedangkan Ku-band 1200-1400 MHz dan C-band 4000-6000 MHz.<sup>32</sup>

Layanan Ka-band memberikan solusi untuk peningkatan spektrum pada band yang lebih rendah. Layanan baru dan inovatif yang meliputi satelit tetap (*fixed satellite*) dan satelit bergerak (*mobile satellite*), distribusi video dan data kecepatan tinggi dapat memakai spektrum yang lebih besar yang disediakan oleh Ka-band. *High Definition Television* (HDTV) dan aplikasi multimedia memerlukan bandwidth yang lebih lebar dibandingkan dengan layanan video yang telah ada dan memakai spektrum untuk layanan komunikasi satelit pada Ka-band adalah langkah evolusi dari layanan telekomunikasi.

### 3.3.2. Ukuran Komponen Lebih Kecil

Keuntungan lain dari pengoperasian frekuensi Ka-band adalah dapat dilakukan pengurangan pada ukuran komponen RF pasif. Panjang gelombang Ka-band yang lebih pendek memberikan ukuran antena yang lebih kecil, filter yang lebih kecil dan struktur dari pemandu gelombang yang lebih kecil dibanding C-band dan Ku-band. Antena VSAT Ka-band yang berukuran 0,6 m dapat

<sup>32</sup> Ibid.



memberikan kualitas yang sama jika dibandingkan dengan layanan antenna 1,2 m pada Ku-band dan 3,2 m pada C-band. Pengurangan ukuran antenna menawarkan kesanggupan level yang lebih tinggi bagi penerima, jika sistem antenna dianggap sebagai faktor utama dalam menentukan keberhasilan suatu sistem komunikasi.

Antena Ka-band yang lebih kecil memberikan penguatan yang lebih besar dibandingkan dengan antenna C-band dan Ku-band, karena besarnya penguatan sebanding dengan frekuensi dalam dB ( $20 \log f$ ). Namun keuntungan ini dibatasi oleh peningkatan dalam rugi-rugi ruang bebas. Peningkatan rugi-rugi ruang bebas dapat seimbang dengan membuat ukuran antenna satelit sama untuk semua keadaan, tetapi beamwidth antenna tentu saja berkurang berbanding terbalik dengan frekuensi. Sehingga untuk memberikan cakupan pada area yang sama pada permukaan bumi, antenna satelit dan konfigurasinya menjadi lebih kompleks pada Ka-band.

### 3.3.3. Jejak Satelit Lebih Kecil

Faktor yang sama yang memberikan ukuran komponen Ka-band yang lebih kecil juga memberikan kemampuan yang lebih tinggi dari antenna satelit dengan ukuran reflektor antenna yang tepat, seperti terlihat pada EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) yang lebih tinggi dan penurunan dimensi dari beamwidth antenna (*footprint*) pada permukaan bumi. Sistem Ka-band dapat memakai multibeam yang memberikan frekuensi *reuse* secara ekstensive, sehingga menghasilkan tingkat efisiensi yang tinggi didalam pemakaian spektrum radio. *Spot beam* dari sistem ini dapat berukuran kecil untuk daerah yang luas.



## BAB IV

### SATELIT OLYMPUS

---

#### 4.1. UMUM

Sejarah perkembangan satelit dimulai pada bulan Oktober 1957 ketika Sputnik I diluncurkan dari Tyuratn-USSR, alat ini memancarkan informasi-informasi telemetri (pengukuran jarak jauh) selama dua puluh satu hari. Pada bulan Januari 1958 US meluncurkan Explorer, digunakan antara lain untuk pengiriman informasi telemetri dan bekerja sampai awal Mei.

Pada tahun 1958 diluncurkan satelit Score yang merupakan satelit komunikasi pertama pada ketinggian 177 - 1480 km (110 - 920 mil). Sejak saat itu peradaban satelit mulai berkembang. Diikuti pada tahun 1962 telah diluncurkan satelit Telstar yang merupakan satelit komunikasi pertama yang menerima dan memancarkan sinyal informasi secara bersama-sama pada frekwensi 6/4 GHZ. Satelit Telstar yang mengorbit pada ketinggian 1097 - 6485 km (682 - 4030 mil) ini mempunyai daya output 3 watt dan digunakan untuk telepon, televisi, facsimile dan data. Kemudian pada tahun 1963 diluncurkan satelit Syncom, dimana satelit ini merupakan satelit komunikasi pertama yang menempati orbit geostasioner. Dua tahun kemudian tepatnya pada tanggal 6 April 1965 diluncurkan satelit komunikasi komersial pertama oleh COMSAT (Communication Satellite Corporation), yaitu satelit Intelsat I atau disebut juga

Early Bird. Satelit Intelsat 1 ini juga menempati orbit geostasioner. Kemudian pada bulan Juli 1989, diluncurkan satelit komunikasi oleh ESA (European Space Agency), yaitu satelit Olympus. Sistem komunikasi satelit dikembangkan untuk memberikan pelayanan komunikasi antar stasiun-stasiun yang letaknya berjauhan dan memiliki daya jangkauan telekomunikasi yang dapat mencakup daerah-daerah yang sangat luas.

#### 4.2. MISI SATELIT OLYMPUS

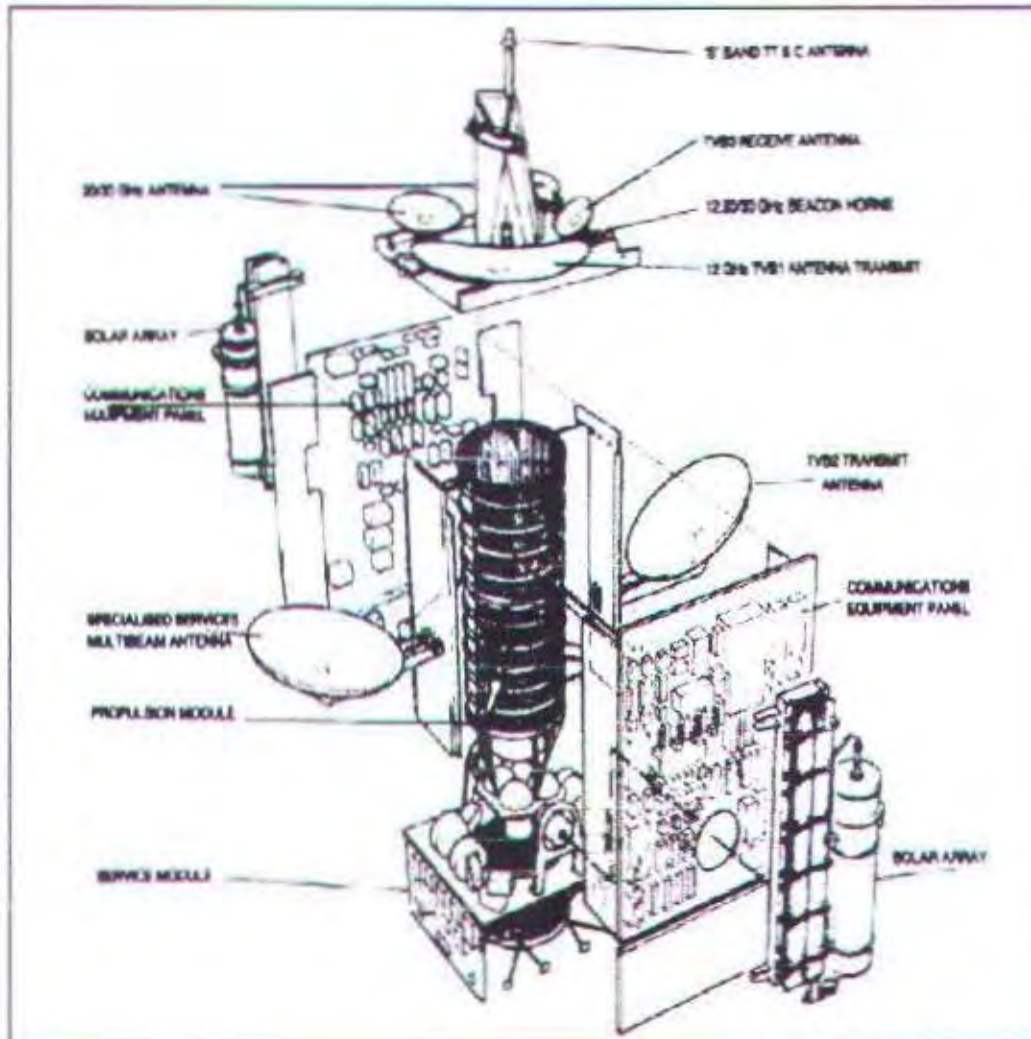
Olympus adalah sebuah satelit telekomunikasi ESA (European Space Agency). Satelit Olympus diluncurkan dengan sukses dari roket Ariane di Kourou, Guyana Francis 12 Juli 1989. Satelit Olympus menempati orbit geostasioner pada 19° bujur barat. Bentuk fisik dari satelit Olympus dapat dilihat pada gambar 4.1, sedangkan bagian-bagian dari satelit Olympus dapat dilihat pada gambar 4.2.



GAMBAR 4.1<sup>33</sup>  
SATELIT OLYMPUS

<sup>33</sup> <http://www.rctu.it.ac.id/welcom.htm>





GAMBAR 4.2<sup>34</sup>  
BAGIAN-BAGIAN SATELIT OLYMPUS

Program Olympus dimulai pada tahun 1981, adapun tujuan dari misi Olympus adalah:

- Pengembangan, meluncurkan dan operasi dalam orbit dari pesawat ruang angkasa geostasioner multiguna.

<sup>34</sup> Bertram R. Arbesher-Haathburg and Gert Brunsard, PROPAGATION RESEARCH IN EUROPE USING THE OLYMPUS SATELLITE (Proceedings Of The IEEE, Vol. 81, no. 6, June 1993), p. 863



- Perkembangan dari sebuah rangkaian telekomunikasi komersial dan operasi dalam orbit untuk meningkatkan kemampuan dalam teknologi dari industri payload, meningkatkan pelanggan dan mempromosikan aplikasi baru melalui pengujian, demonstrasi dan program utilisasi.

Misi jangka panjang dari Olympus adalah lima tahun. Olympus membawa payload sebagai berikut:

- Sebuah peralatan komunikasi multi-beam 12/14 GHz untuk percobaan dengan pelayanan khusus seperti SS-TDMA.
- Sebuah peralatan direct broadcast untuk percobaan DBS pada 11 GHz (frekuensi uplink 18 GHz).
- Sebuah peralatan komunikasi 20/30 GHz yang digunakan untuk berbagai percobaan dibidang komunikasi seperti layanan bisnis, video conference, pengajaran jarak jauh dan lainnya. Payload memakai dua high-gain spot beam yang dapat diatur bebas keseluruhan permukaan bumi.
- Paket propagasi.

Dalam tugas akhir ini yang dibahas hanya pada paket propagasi dari percobaan yang dilakukan oleh satelit Olympus, dimana propagasi ini akan mengalami redaman-redaman pada link komunikasi satelit.

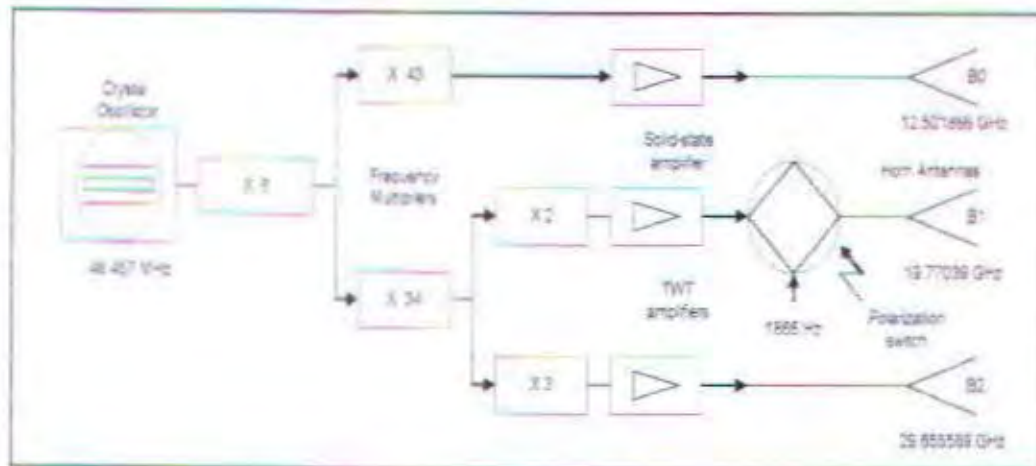
#### 4.3. PERALATAN BEACON OLYMPUS

Peralatan propagasi didesain untuk memberikan kemungkinan pengukuran jangka panjang dari redaman propagasi pada 20 GHz dan 30 GHz, penetapan frekuensi baru untuk komunikasi satelit tetap dan dalam waktu yang sama

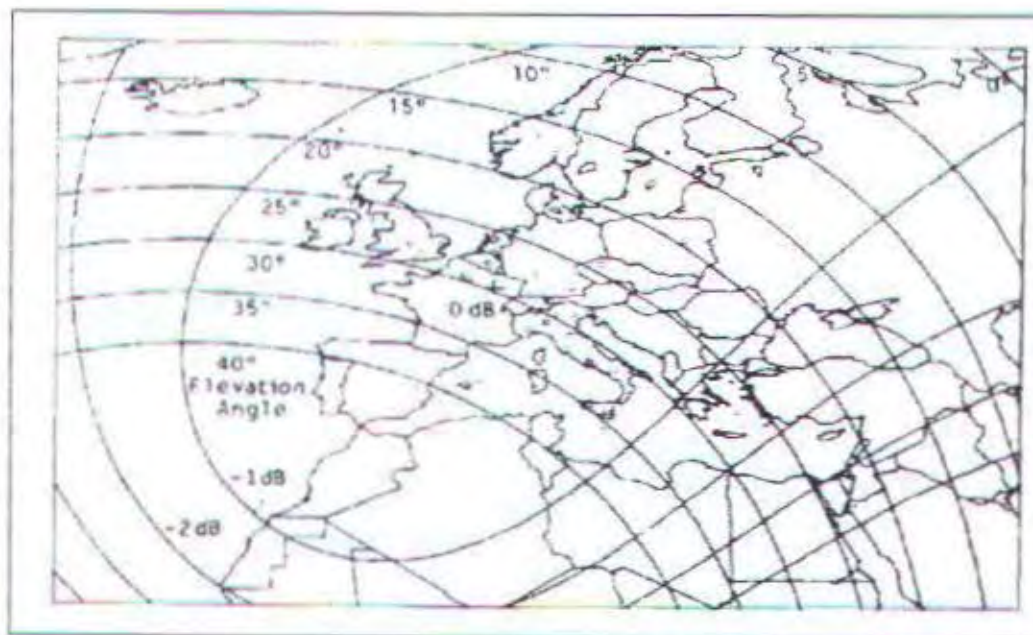
memberikan perbandingan dengan yang telah banyak menggunakan Ku-band pada frekuensi 12 GHz.

Diagram Blok peralatan beacon Olympus ditunjukkan pada gambar 4.5. Untuk memberikan perbedaan phase pengukuran ketiga beacon (B0, B1, B2) didesain untuk memancarkan sinyal yang tetap, semua diturunkan dari oscilator yang sama dengan frekuensi 48,456845 MHz. Frekuensi oscilator pertama-tama dikalikan dengan enam menghasilkan gelombang sinus 290,74107 MHz. Untuk menghasilkan beacon B0 gelombang sinus 290,74107 MHz dikalikan dengan empat puluh tiga dan kemudian diperkuat dengan sebuah solid state amplifier yang bekerja pada frekuensi 12,501866 GHz. Antena B0 adalah berbentuk horn yang memberikan daya jangkauan global. Sinyal yang ditransmisikan berbentuk polarisasi linier dalam sumbu Y (utara-selatan pada titik bagian satelit dan sepanjang meridiannya). Gelombang sinus 290,74107 MHz juga dikalikan dengan tiga puluh empat, menghasilkan frekuensi 9,8885196 GHz yang dipakai oleh beacon B1 dan B2. Frekuensi ini diduakalikan untuk menghasilkan frekuensi beacon B1 sebesar 19,770393 GHz. Amplifier A TWT dipergunakan untuk menghasilkan tenaga yang diperlukan. Untuk memberikan pengukuran dari matrik transmisi komplek dari sinyal yang dikirimkan di atmosfer adalah didapatkan diantara dua sumbu polar ortogonal (X dan Y). Countur 3 dB dari beacon B1 meliputi keseluruhan Eropa dan sebagian besar dari Eropa utara pada gambar 4.6. Untuk beacon B2 gelombang sinus 290,74107 MHz dikali tiga menghasilkan 29,655589 GHz yang juga diperkuat dengan amplifier (TWTA). Polarisasinya adalah linier Y (sama dengan B0) dan daerah jangkauannya sama dengan B1.





GAMBAR 4.3<sup>35</sup>  
BLOK DIAGRAM PAYLOAD OLYMPUS



GAMBAR 4.4<sup>36</sup>  
COUNTUR PLOT BEACON PROPAGASI B1/B2 DAN SUDUT ELEVASI

<sup>35</sup> Bertalan R. Arbuesen-Rasmussen and Gert Brønstad, *loc. cit.*

<sup>36</sup> *Ibid.*



Pada tabel 4.1 diperlihatkan suatu spesifikasi data teknik dari satelit Olympus. Sedangkan pada tabel 4.2 diperlihatkan spesifikasi beacon Ka-band (B2) dari payload satelit Olympus.

TABEL 4.1<sup>37</sup>  
SPESIFIKASI DATA TEKNIK

Prime contractor	British Aerospace (now MMS)
Platform	Olympus
Mass at launch	2595 kg
Payload mass	359 kg
Dimension	2,9 x 2,7 x 5,6 m
Solar array	26 m span
DC power	3600 W
Stabilization	3 axis
Design lifetime	7 years

TABEL 4.2<sup>38</sup>  
SPESIFIKASI BEACON Ka-BAND

Main transponders	2
Backup transponders	1
Power	30 W (TWTA)
Bandwidth	40 & 700 MHz
Coverage	2 steerable spot beams
EIRP max	52,1 dBW
Frequencies	19,77 / 29,65 GHz

<sup>37</sup> <http://www.esoc.esa.de/external/zoom/olympus.html>

<sup>38</sup> *Ibid.*

TABEL 4.3<sup>39</sup>  
HASIL-HASIL TEST BEACON PAYLOAD

Parameter		Beacon		
		B0	B1	B2
Frequency	GHz	12,501866	19,770393	29,655589
Frequency offset (over 24 h)	KHz	-1,77	-2,80	-4,20
Frequency variation (over 24 h)	KHz	0,31	0,49	0,74
EIRP	dBW	13,1	31,7	27,7
EIRP variations (pk-pk, over 24 h)	dB	0,25	0,4	0,86
XPI	dB	35	>43	-
Polarization (X/Y)		Y	X/Y	Y
Polarization switching frequency	Hz	-	933,000525	-

Untuk menghasilkan tingkat keandalan yang tinggi, semua bagian-bagian kritis (amplifier) memiliki unit-unit cadangan (kanal-kanal tertentu). Kinerja dari payload dibuktikan selama test dalam orbit yang dilaksanakan di Redu (Belgia) dan beberapa tempat di Eropa. Kecuali untuk kegagalan dari kanal-kanal B1 dan B2 yang tidak diperlukan, kinerjanya adalah nominal. Hasil yang paling penting dalam test orbit dari beacon payload ditunjukkan dalam tabel 4.3.





#### 4.4. PERCOBAAN PROPAGASI OLYMPUS

Setelah test dalam orbit selesai, percobaan propagasi pertama dimulai. Hingga tahun 1990 satelit dapat difungsikan dengan baik, tidak banyak percobaan-percobaan sinyal beacon diterima.

<sup>39</sup> Arboresc-Bastberg, Dussard, PROPAGATION RESEARCH IN EUROPE USING THE OLYMPUS SATELLITE (Proceedings of The IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993), p. 868

Pada tanggal 29 Mei 1991 satelit menjadi masalah utama dalam operasional. Dengan serangkaian prosedur yang rumit, Olympus diselamatkan pada tanggal 15 Agustus 1991. Ini merupakan kejadian pertama dalam sejarah bahwa satelit telekomunikasi sipil dibawa kembali untuk diperbaiki setelah kehilangan tenaga dan telemetri. Percobaan propagasi kembali dilaksanakan. Dalam penyelamatan tadi telah banyak menghabiskan bahan bakar namun stasiun utara selatan tetap terabaikan, yang memberikan peningkatan kemiringan secara alami rata-rata  $0,8''$  pertahun. Pada tanggal 10 Oktober 1992 tabung beacon 30 GHz yang kedua mengalami kegagalan, yang mengakibatkan kehilangan sinyal dari beacon ini. Dua frekuensi beacon yang lainnya tetap mengirimkan sinyal yang stabil selama lebih dari dua tahun setelah satelit diselamatkan.

TABEL 4.4<sup>40</sup>  
SINYAL-SINYAL BEACON OLYMPUS

Year :	1989	1990	1991	1992	1993
Spacecraft bus					
B0 beacon (12,5 GHz)					
B1 beacon (19,7 GHz)					
B2 beacon (29,6 GHz)					

<sup>40</sup> J.P.V. Polaris Daponte et al., CONTENT OF THE OLYMPUS MISSION (OPEN, Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction, Vol. 1, November 1994), p. 19



Pada tanggal 12 Agustus 1993 satelit mengalami masalah lain yaitu pada pengaturan letak (attitude control), tetapi kali ini tidak cukup bahan bakar untuk penyelamatan manuver sehingga misi dari satelit Olympus ini berakhir. Kemudian setelah misi dari Olympus berakhir pada tanggal 12 Agustus 1993, percobaan-percobaan propagasi dikonsentrasikan pada analisa dari data yang telah dikumpulkan. Tabel 4.4 memberikan ringkasan dari keadaan operasional dari payload beacon satelit Olympus.

#### 4.5. LOKASI PENELITIAN

European Space Agency mengembangkan peralatan baru seperti sebuah prototipe digital beacon penerima dan dua jenis radiometer uap air bertekanan udara. Percobaan terpisah diperlukan untuk menggunakan peralatan ini, yaitu menemukan tempat-tempat pengukuran yang sesuai dan untuk melanjutkan penelitian. Selama phase pengukuran ESA menyediakan operator dengan elemen orbit dan titik-titik perkiraan dan informasi operasional pada basis reguler.

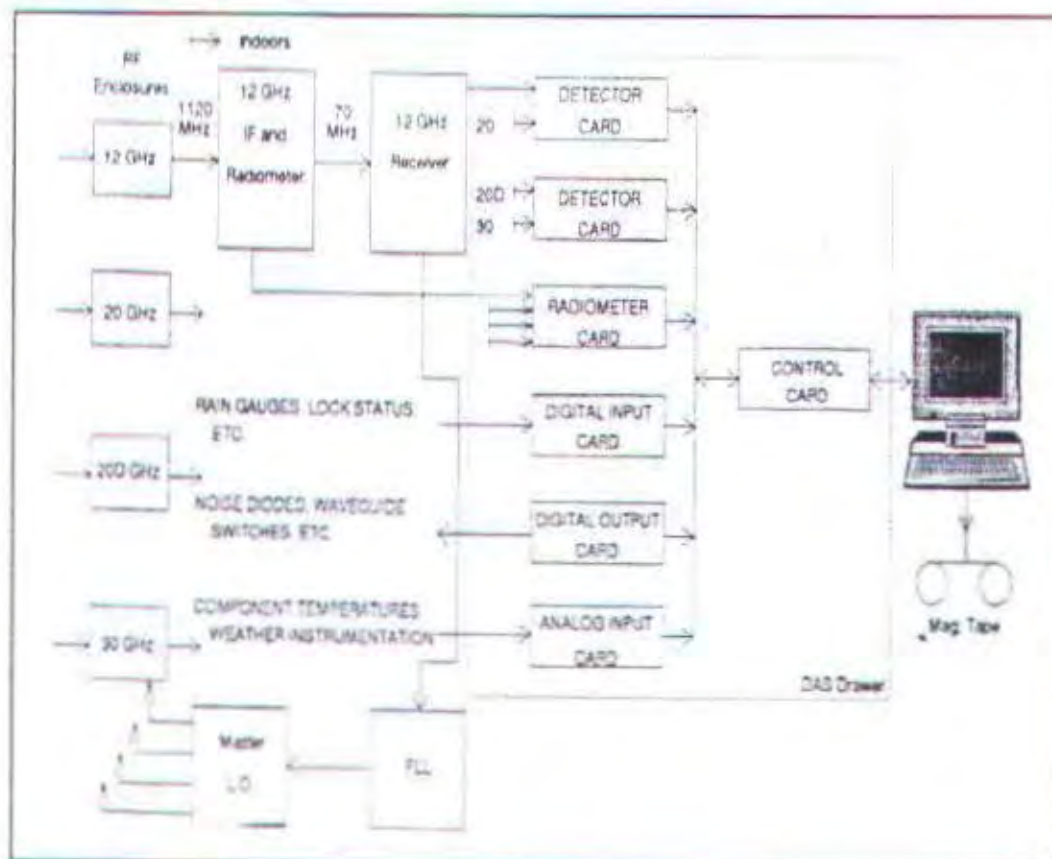
Petunjuk desain receiver disesuaikan dengan kebutuhan dan berbagai macam karakteristik stasiun telah ditemukan. Pada periode Juni hingga Agustus 1991 saat satelit tidak bekerja, pemeliharaan stasiun satelit yang masih bekerja tetap dilakukan hingga April 1992 saat cadangan bahan bakar meminta perhatian khusus. Stasiun dengan sistem pelacak tidak terlalu menyimpang tetapi beberapa stasiun tanpa sistem pelacak telah diuji akan mengalami variasi sinyal diurnal melebihi sebesar 15 dB pada awal 1993. Menara satelit memancarkan gelombang pada 30 GHz masih dijumpai hingga 10 Oktober 1992 saat terjadi kerusakan pada

menara. Tentunya stasiun-stasiun dilengkapi dengan radiometer-radiometer yang tetap mencatat data pada 30 GHz sebagai perbandingan dengan pancaran gelombang satelit pada frekuensi lain dan untuk pengambilan data-data berbasis statistik. Salah satu stasiun penerima di Rutherford Appleton Laboratory (RAL) yang terletak di Chilton Inggris, dapat dilihat pada gambar 4.6 dan lokasi pembuatan beacon satelit Olympus pada gambar 4.7. Sekitar lima puluh tempat penelitian dipakai untuk mengumpulkan data-data propagasi yang dilakukan oleh satelit Olympus. Tempat-tempat penelitian tersebut sebagian besar berlokasi di Eropa. Tabel 4.5 daftar lokasi anggota OPEX (*Olympus Propagation Experiment*) sebagai daerah observasi berkaitan dengan satelit Olympus. Untuk daftar lokasi penelitian yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 3.

Sistem penerimaan dibangun untuk menghasilkan frekuensi beacon yang koheren. Diagram blok karakteristik dari sistem penerima ditunjukkan pada gambar 4.5. Frekuensi *locked loop* (FLL) diturunkan dari informasi frekuensi *tracking* yang berasal dari sinyal beacon 12 GHz. Penerima pada ketiga frekuensi hampir mirip dan digunakan tiga tahap untuk konversi turun ke IF akhir sebesar 10 KHz. Pengoperasian pada ring dinamis yang lebih baik pada 30 dB adalah diperoleh pada frekuensi 20 dan 30 GHz dan lebih baik pada 20 dB pada frekuensi 12 GHz. Sinyal pada masing-masing penerima diproses pada bagian RF, bagian IF dan analog/digital receiver dan dimonitor oleh sebuah sistem data base PC. Bagian RF pada tiap-tiap penerima terdiri dari switch gelombang pengarah untuk pemancaran sebuah sinyal yang telah dikalibrasi kedalam lintasan beacon, digerakkan secara bertahap oleh peredam untuk



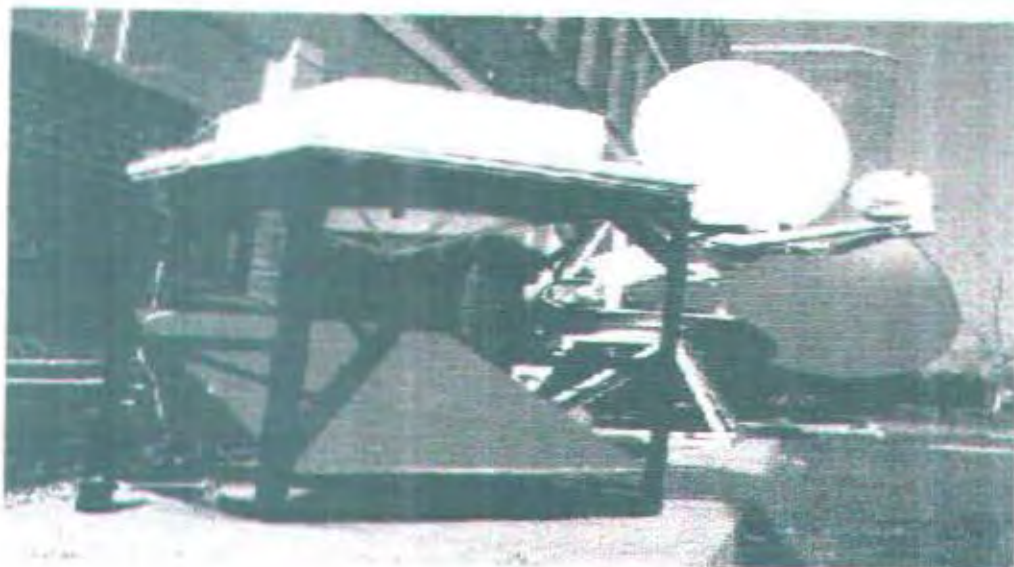
membantu dalam sistem kalibrasi, noise yang rendah diperkuat sehingga 35 dB dan mixer-preamplifier yang mengkonversikan sinyal RF ke IF sebesar 1120 MHz. Frekuensi IF ini umumnya digunakan untuk ketiga sinyal beacon. Bagian IF dilengkapi pula dengan dua tahap konversi frekuensi dan menghasilkan frekuensi IF kedua dan ketiga yang masing-masing besarnya 70 MHz dan 10 KHz. Penerima hybrid analog/digital digunakan untuk keseluruhan kanal. Keluaran output receiver dan radiometer secara kontinyu dimonitor oleh Personal Computer.



GAMBAR 4.5<sup>41)</sup>  
BLOK DIAGRAM SISTEM PENERIMA

<sup>41)</sup> Warren L. Stutzman, RESULTS FROM THE VIRGINIA TECH PROPAGATION EXPERIMENT USING THE OLYMPUS SATELLITE 12, 20, 30 GHz BEACONS (IEEE Transactions on Antennas Propagation, Vol. 43, No. 1, January 1995), p. 55





GAMBAR 4.6<sup>42</sup>  
STASIUN PENERIMA DI RAL



GAMBAR 4.7<sup>43</sup>  
LOKASI PEMBUATAN BEACON SATELIT OLYMPUS

<sup>42</sup> [http://tele-satellite.com/usa/online/sat\\_olympus.html](http://tele-satellite.com/usa/online/sat_olympus.html)

<sup>43</sup> Ibid

TABEL 4.5 <sup>44</sup>  
LOKASI-LOKASI PENELITIAN OLYMPUS

Lokasi	Negara	Latitude (deg)N	Longitude (deg)E	Altitude (m)	Sudut Elevasi (deg)
Lessive	BE	50,2167	5,2500	162	27,81
Eindhoven	NL	51,4480	5,4870	15	26,78
Darmstadt	DE	49,8690	8,6250	180	28
Oberpfaffenhofen	DE	48,0833	11,2833	580	26,76
Kirkkonummi	SF	60,2168	24,3964	60	12,68
Albertslund	DK	55,6800	12,3600	30	20,61
La Folie Bessin	FR	48,6530	2,1960	160	30,33
Gometz la Ville	FR	48,6710	2,1210	170	30,32
Nola	IT	40,8600	14,3000	30	31,79
Bologna	IT	44,4900	11,3300	60	30,44
Spino d'Adda	IT	45,5000	9,5000	84	30,43
Cagliari	IT	39,1500	9,1400	10	36,12

Tabel 4.6 <sup>45</sup>  
LINK BUDGET STASIUN DARMSTADT

Beacon	B0	B1	B2
EIRP (dBW)	11,8	29,7	26,1
Path loss (dB)	207,5	211,5	215,0
G/T (dB/K)	18,8	26,6	28,5
G/No (dB/Hz)	51,7	70,4	68,2
C/N in 50 Hz PLL bandwidth (dB)	34,7	53,4	51,2
C/N at PLL threshold (dB)	10,0	10,0	10,0
Fade margin (dB)	24,7	54,1	105,9

<sup>44</sup> Baptista, BASIC OF THE MEASUREMENTS WITH OLYMPUS (OPEN, Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction, Vol. 1, November 1994), p. 16

<sup>45</sup> F. Dinkelmann, et al. RESULTS FROM 12-TO 30-GHz GERMAN PROPAGATION EXPERIMENTS CARRIED OUT WITH RADIOMETERS AND THE OLYMPUS SATELLITE (Proceedings Of The IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993), p. 880



Dari tabel lokasi-lokasi penelitian di atas, beberapa bagian wilayah Italia beroperasi hanya dengan B1 dan juga bermaksud menggunakan satelit Intelsat yang telah memiliki menara-menara pemancar berkekuatan 20 GHz, 40 GHz dan 50 GHz. Perlu dicatat banyak wilayah yang ada dalam tabel menggunakan paling sedikit dua radiometer. Tabel 4.5 menunjukkan link budget beacon Olympus di stasiun Darmstadt.

Dari data-data propagasi yang diperoleh di masing-masing tempat penelitian, maka dibuat suatu prediksi. Dimana prediksi ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran sehingga diperoleh suatu hasil yang dapat digunakan untuk perkembangan selanjutnya. Analisa perbandingan antara pengukuran redaman dan prediksi redaman dibahas pada bab selanjutnya.



## **BAB V**

### **ANALISA REDAMAN PROPAGASI Ka-BAND**

---

#### **5.1. UMUM**

Hasil-hasil penelitian menunjukkan redaman gelombang mikro pada frekuensi di atas 10 GHz terutama disebabkan oleh hujan. Besar redaman terhadap sinyal dikaitkan dengan intensitas curah hujan yang terjadi. Pada lintasan miring, hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan (2.47). Semakin besar intensitas curah hujan  $R$ , redaman  $A_0$  yang timbul juga semakin besar. Demikian juga jika panjang lintasan efektif  $L$  semakin besar, semakin besar pula redamannya.

Pada bab ini akan dibahas analisa statistik redaman gas, awan, scintilasi, lapisan melting dan redaman hujan di daerah Darmstadt dan Kirkkonummi dengan menggunakan satelit Olympus pada frekuensi uplink 29,65 GHz dan frekuensi downlink 19,77 GHz.

#### **5.2. REDAMAN GAS**

Gas atmosfer yang berinteraksi dengan link komunikasi satelit adalah gas oksigen dan uap air. Redaman yang dihasilkan oleh oksigen dan uap air dalam atmosfer ditentukan dengan redaman spesifik untuk tiap-tiap komponen dalam

dB/km. Secara teoritis redaman gas-gas sangat berpengaruh pada frekuensi di atas 10 GHz. Pada frekuensi dibawah 10 GHz redaman gas yang dihasilkan sangat kecil.

### ■ REDAMAN GAS OKSIGEN

Perhitungan redaman gas oksigen untuk daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$  adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz:**

*Langkah 1:*

Menentukan redaman spesifik gas oksigen :

$$\begin{aligned}\gamma_o &= \left[ 7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{(29,65^2 + 0,227)} + \frac{4,81}{(29,65 - 57)^2 + 1,5} \right] \cdot 29,65^2 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,018051 \text{ dB/km} \\ \gamma_o &= 0,018051 \cdot (1 - 0,01 \cdot (25 - 15)) \\ &= 0,01625 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

*Langkah 2:*

Menghitung redaman total oksigen dari redaman spesifik dengan ho berharga 6 km :

$$\begin{aligned}A_o &= \frac{6 \times 0,01625}{\sin 28^\circ} \\ &= 0,20772 \text{ dB}\end{aligned}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz**

*Langkah 1:*

$$\gamma_o = 0,00923 \text{ dB/km}$$

Langkah 2:

$$A_0 = \frac{6 \times 0,00923}{\sin 28^\circ}$$

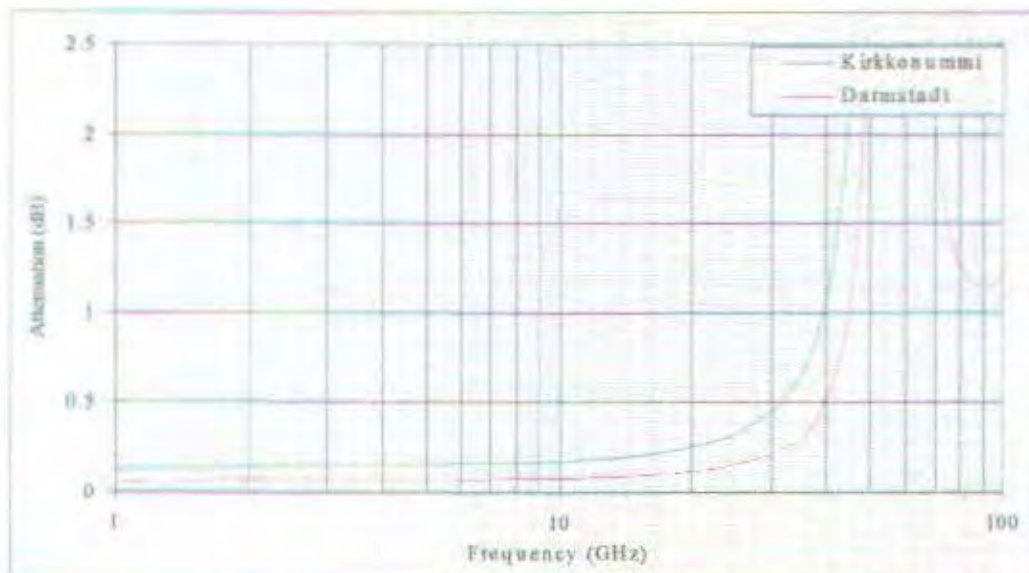
$$= 0,11797 \text{ dB}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan di atas, maka dapat dilakukan perhitungan redaman gas oksigen untuk lokasi lain. Pada Tabel 5.1 diperlihatkan harga redaman oksigen untuk daerah Kirkkonummi dan daerah Darmstadt. Dari tabel hasil perhitungan ini dapat dibuat suatu grafik frekuensi terhadap redaman dan grafik redaman gas oksigen sebagai fungsi frekuensi untuk daerah Kirkkonummi dan daerah Darmstadt dapat dilihat pada gambar 5.1. Pada tabel 5.1 dapat dilihat redaman spesifik di daerah Darmstadt lebih besar dibandingkan di daerah Kirkkonummi Tetapi dari gambar 5.1 terlihat bahwa redaman oksigen di daerah Kirkkonummi dengan sudut elevasi  $12,68^\circ$  lebih besar dibandingkan redaman oksigen di daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$ . Hal ini disebabkan semakin besar sudut elevasi, maka redaman oksigen akan semakin kecil dan demikian juga sebaliknya.

TABEL 5.1  
HASIL PERHITUNGAN REDAMAN OKSIGEN

Lokasi	$\theta$ (derajat)	$\gamma_o$ (dB/km)	$A_0$ (dB)
Kirkkonummi uplink downlink	12,68	0,01607	0,43935
		0,00912	0,24952
Darmstadt uplink downlink	28	0,01625	0,20772
		0,00923	0,11797





GAMBAR 5.1  
REDAMAN OKSIGEN TERHADAP FREKUENSI

#### ■ REDAMAN UAP AIR

Perhitungan redaman uap air bergantung pada besar kerapatan uap air pada permukaan bumi. Untuk menghitung besar kerapatan uap air dibutuhkan data-data temperatur dan kelembaban udara. Dengan menggunakan persamaan (2.11) didapatkan harga kerapatan uap air di Darmstadt sebesar  $12,35 \text{ g/m}^3$  dan Kirkkonummi sebesar  $12,54 \text{ g/m}^3$ .

Perhitungan redaman uap air untuk daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$ , kerapatan uap air sebesar  $12,35 \text{ gr/m}^3$  dan temperatur  $25^\circ\text{C}$  pada posisi uplink dan downlink adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz**

*Langkah 1:*

Menghitung redaman spesifik dengan persamaan:

$$\gamma_w = \left[ 0,05 + 0,0021 \cdot 12,35 + \frac{36}{(2,65 - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{106}{(29,65 - 183,3)^2 + 9} + \frac{89}{(29,65 - 325,4)^2 + 26,3} \right] 29,65^2 \cdot 12,35 \cdot 10^{-4}$$

$$= 0,144107 \text{ dB/km}$$

$$\gamma_w = 0,144107 \cdot (1 - 0,006 \cdot (25 - 15))$$

$$= 0,13546 \text{ dB/km}$$

*Langkah 2:*

Menghitung tinggi uap air dengan  $h_{w0}$  berharga 2,1 km:

$$h_w = 2,1 \cdot \left[ 1 + \frac{3}{(29,65 - 22,2)^2 + 5} + \frac{5}{(29,65 - 183,3)^2 + 6} + \frac{2,5}{(29,65 - 325,4)^2 + 4} \right]$$

$$= 2,204633 \text{ km}$$

*Langkah 3:*

Menghitung redaman total uap air dari redaman spesifik dan tinggi uap air:

$$A_w = \frac{2,204633 \times 0,13546}{\sin 28^\circ}$$

$$= 0,63642 \text{ dB}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz**

*Langkah 1:*

$$\gamma_w = 0,14807 \text{ dB/km}$$

*Langkah 2:*

$$h_w = 2,678171 \text{ km}$$

*Langkah 3:*

Menghitung redaman total uap air dari redaman spesifik dan tinggi uap air:

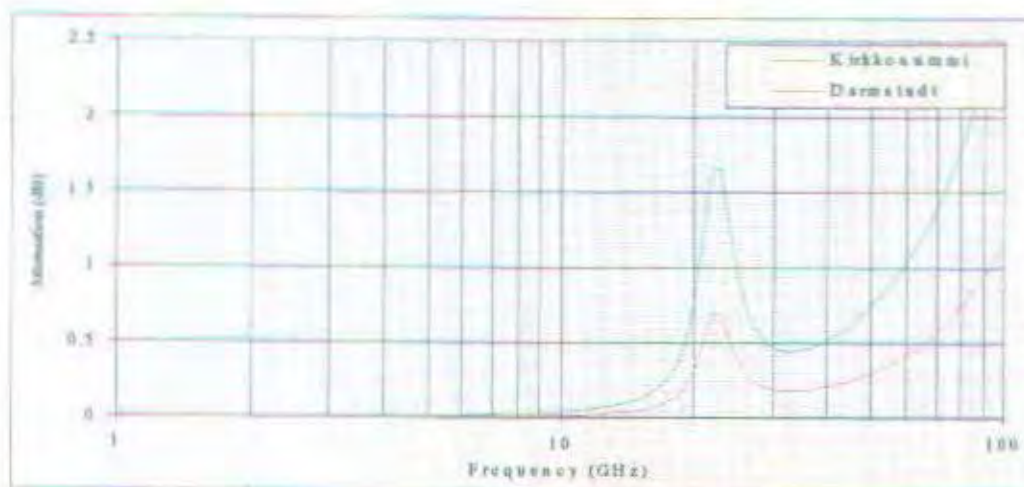
$$A_w = \frac{2,678171 \times 0,14807}{\sin 28^\circ}$$

$$= 0,84509 \text{ dB}$$

Sesuai dengan perhitungan di atas, maka dapat dilakukan perhitungan redaman uap air untuk daerah Darmstadt dapat dilihat pada tabel 5.2 dan dari tabel perhitungan redaman uap air dapat dibuat grafik redaman uap air untuk daerah Kirkkonummi dan daerah Darmstadt pada gambar 5.2.

TABEL 5.2  
PERHITUNGAN REDAMAN UAP AIR

Lokasi	$\theta$ (derajat)	$\rho_v$ (gr/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$ (dB/km)	$A_w$ (dB)
Kirkkonummi uplink downlink	12,68	12,54	0,13708	1,37746
			0,14957	1,82585
Darmstadt uplink downlink	28	12,35	0,13546	0,63642
			0,14807	0,84509



GAMBAR 5.2  
REDAMAN UAP AIR TERHADAP FREKUENSI



Redaman uap air tergantung pada besarnya sudut elevasi dan kerapatan uap air. Semakin besar sudut elevasi maka redaman uap air akan semakin kecil. Semakin besar kerapatan uap air maka redaman uap air semakin besar. Dari gambar 5.2 dapat dilihat bahwa redaman uap air di daerah Kirkkonummi dengan sudut elevasi  $12,68^\circ$ , kerapatan uap air  $12,54 \text{ g/m}^3$  adalah lebih besar dibandingkan dengan redaman uap air di daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$ , kerapatan uap air  $12,35 \text{ g/m}^3$ . Perbedaan ini disebabkan karena kerapatan uap air di daerah Kirkkonummi lebih besar dibandingkan dengan kerapatan uap air di daerah Darmstadt dan sudut elevasi di daerah Kirkkonummi lebih kecil dibandingkan dengan di daerah Darmstadt.

Maka hasil perhitungan redaman uap air dan oksigen sebagai fungsi sudut elevasi pada redaman gas total dari persamaan:

$$A_t = A_o + A_w$$

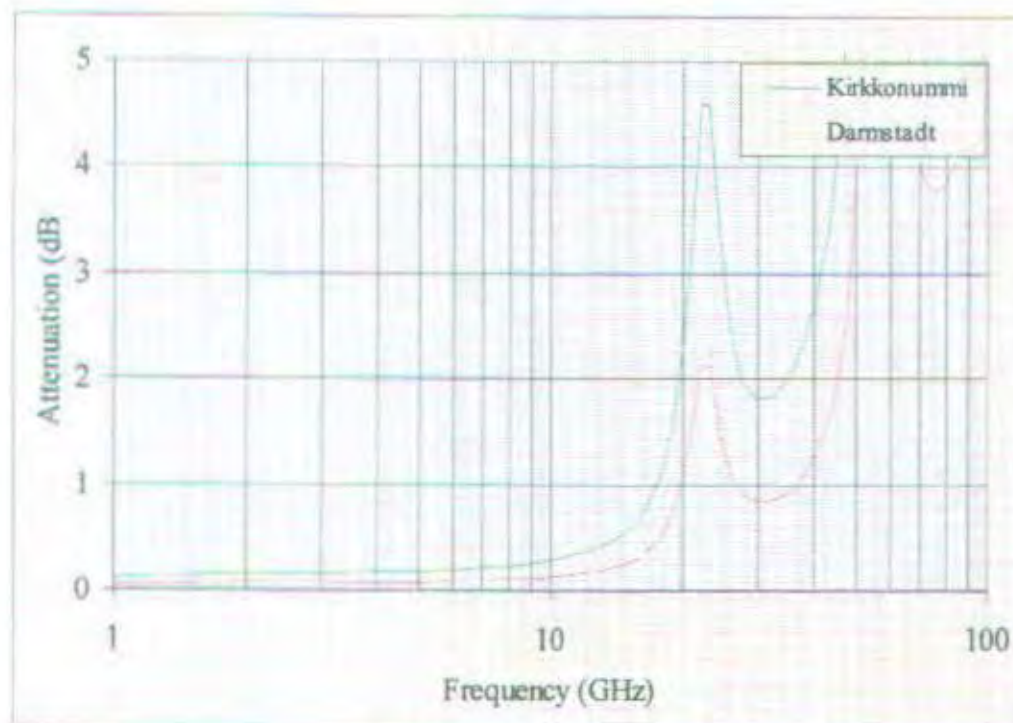
Berdasarkan data lokasi dan sudut elevasi, maka hasil perhitungan dari redaman gas total dapat dilihat pada tabel 5.3 dan grafik perbandingan redaman gas total untuk daerah Kirkkonummi dan daerah Darmstadt pada gambar 5.3.

Redaman gas terdiri dari redaman oksigen dan redaman uap air. Redaman gas tergantung pada sudut elevasi, semakin besar sudut elevasi maka redaman gas akan semakin kecil demikian juga sebaliknya. Dari tabel 5.3 dapat dilihat bahwa redaman gas di daerah Kirkkonummi dengan sudut elevasi  $12,68^\circ$ , kerapatan uap air  $12,54 \text{ g/m}^3$  adalah sebesar 1,81681 dB untuk frekuensi 29,65 GHz dan 2,07537 dB untuk frekuensi 19,77 GHz. Sedangkan di daerah Darmstadt dengan sudut

elevasi 28°, kerapatan uap air 12,35 g/m<sup>3</sup> redaman gas sebesar 0,84414 dB untuk frekuensi 29,65 GHz dan 0,96306 dB untuk frekuensi 19,77 GHz.

TABEL 5.3  
HASIL PERHITUNGAN REDAMAN GAS TOTAL

Lokasi	$\theta$ (derajat)	$A_o$ (dB)	$A_w$ (dB)	$A_t$ (dB)
Kirkkonummi uplink	12,68	0,43935	1,37746	1,81681
downlink		0,24952	1,82585	2,07537
Darmstadt uplink	28	0,20772	0,63642	0,84414
downlink		0,11797	0,84509	0,96306



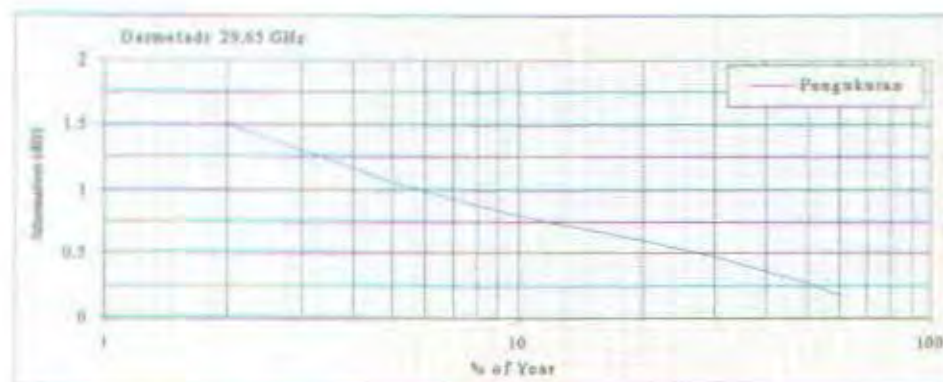
GAMBAR 5.3  
REDAMAN GAS TERHADAP FREKUENSI

### 5.3. REDAMAN AWAN

Pengukuran awan yang akurat adalah sangat sulit meskipun dilakukan secara langsung di angkasa. Pada tabel 5.4 diperlihatkan data pengukuran redaman awan di daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$  pada frekuensi 29,65 GHz.

TABEL 5.4  
DATA REDAMAN AWAN DI DARMSTADT

Prosentase Waktu (%)	Pengukuran (dB) uplink
1	-
2	1,50
3	1,30
5	1,05
10	0,80
20	0,60
30	0,47
50	0,28
60	0,18



GAMBAR 5.4<sup>46</sup>  
PENGUKURAN REDAMAN AWAN DI DARMSTADT

<sup>46</sup> A. Dissanayake, J. Albrit, F. Hatlue, A PREDICTION MODEL THAT COMBINES RAIN ATTENUATION AND OTHER PROPAGATION IMPAIRMENTS ALONG EARTH-SATELLITE PATHS (IEEE Transactions On Antennas and Propagation, Vol. 45, No. 10, October 1997), p. 1549



Perhitungan redaman awan untuk daerah Darmstadt dengan prosentase total cloud cover sebesar 63,3 dan besar suhu pengamatan 25°C adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz:**

*Langkah 1:*

Menentukan redaman spesifik awan dari empat tipe awan, yang dihubungkan dengan kerapatan air untuk keempat tipe awan (tabel 2.2) dengan menggunakan pendekatan Liebe dengan persamaan:

$$\alpha_{cl} = \frac{0,1820 \cdot \left(\frac{9}{2}\right) \cdot f \cdot v_i}{e^{y^2}(y^2 + 1)} \quad \text{dB/km}$$

$$\alpha_{Cumulonimbus} = 0,414434 \quad \text{dB/km}$$

$$\alpha_{Cumulus} = 0,24866 \quad \text{dB/km}$$

$$\alpha_{Nimbostratus} = 0,414434 \quad \text{dB/km}$$

$$\alpha_{Stratus} = 0,165773 \quad \text{dB/km}$$

*Langkah 2:*

Menghitung redaman total  $A_{cl}$  untuk tiap tipe awan ( $i = 1$  sampai 4) didapat dari perkalian redaman spesifik dan vertical extent (tabel 2.2) pada  $\theta = 28^\circ$  dengan persamaan:

$$\begin{aligned} A_{Cumulonimbus} &= \frac{\alpha_{cl} \cdot H_{cl}}{\sin \theta} \quad \text{dB} \\ &= 0,211864 \quad \text{dB} \end{aligned}$$

$$A_{Cumulus} = 0,706213 \quad \text{dB}$$

$$A_{\text{Nimbostratus}} = 1,05932 \text{ dB}$$

$$A_{\text{Stratus}} = 2,4683 \text{ dB}$$

*Langkah 3:*

Jika ke empat tipe awan diurut menurut tingkat redaman maka menghasilkan empat titik pada kurva distribusi redaman bersyarat awan  $A_c$ , dengan persamaan: dengan standar deviasi  $\sigma_c$ .

$$P(A > A_c) = \frac{P_0}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{\ln A - \ln \bar{A}_c}{\sqrt{2} \cdot \sigma_c} \right)$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz:**

*Langkah 1:*

$$\alpha_{\text{Cumulo Nimbus}} = 0,186464 \text{ dB/km}$$

$$\alpha_{\text{Cumulus}} = 0,111879 \text{ dB/km}$$

$$\alpha_{\text{Nimbostratus}} = 0,186464 \text{ dB/km}$$

$$\alpha_{\text{Stratus}} = 0,0745857 \text{ dB/km}$$

*Langkah 2:*

$$A_{\text{cumulonimbus}} = 0,095323 \text{ dB}$$

$$A_{\text{cumulus}} = 0,317743 \text{ dB}$$

$$A_{\text{Nimbostratus}} = 0,476615 \text{ dB}$$

$$A_{\text{Stratus}} = 1,19154 \text{ dB}$$

*Langkah 3:*

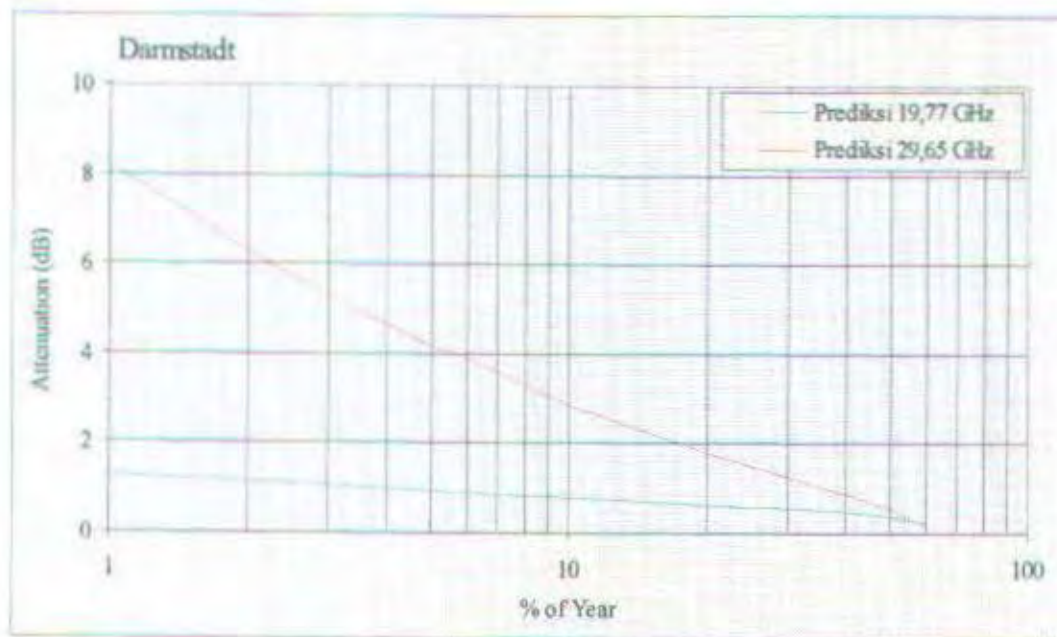
$$P(A > A_c) = \frac{P_0}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{\ln A - \ln \bar{A}_c}{\sqrt{2} \cdot \sigma_c} \right)$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat dibuat tabel redaman awan di Darmstadt pada frekuensi uplink dan downlink seperti pada tabel 5.5 dan dari tabel dapat dibuat grafik redaman awan pada gambar 5.5. Pada tabel ini menggunakan prosentase waktu 1% sampai 60%. Dari keempat tipe awan, redamanm awan terbesar terbesar terjadi pada jenis awan Stratus. Pada gambar 5.5 terlihat grafik hasil perhitungan redaman awan pada frekuensi 29,65 GHz dan 19,77 GHz di Darmstard adalah sebesar 8,25 dB dan 1,26 dB pada prosentase waktu 1%.

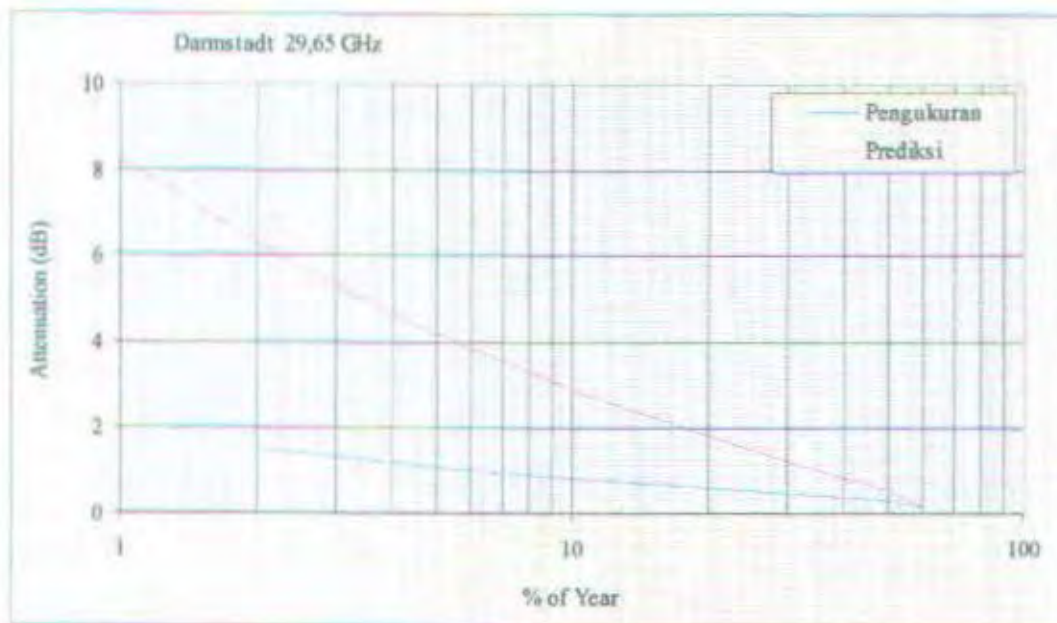
TABEL 5.5  
PREDIKSI REDAMAN AWAN DI DARMSTADT

Prosentase Waktu %	Redaman Awan (dB)	
	Prediksi	
	downlink	uplink
1	1,26	8,25
2	1,12	6,31
3	1,04	5,31
5	0,94	4,18
10	0,8	2,87
20	0,64	1,81
30	0,54	1,25
50	0,39	0,56
60	0,22	0,18





GAMBAR 5.5  
PREDIKSI REDAMAN AWAN DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz

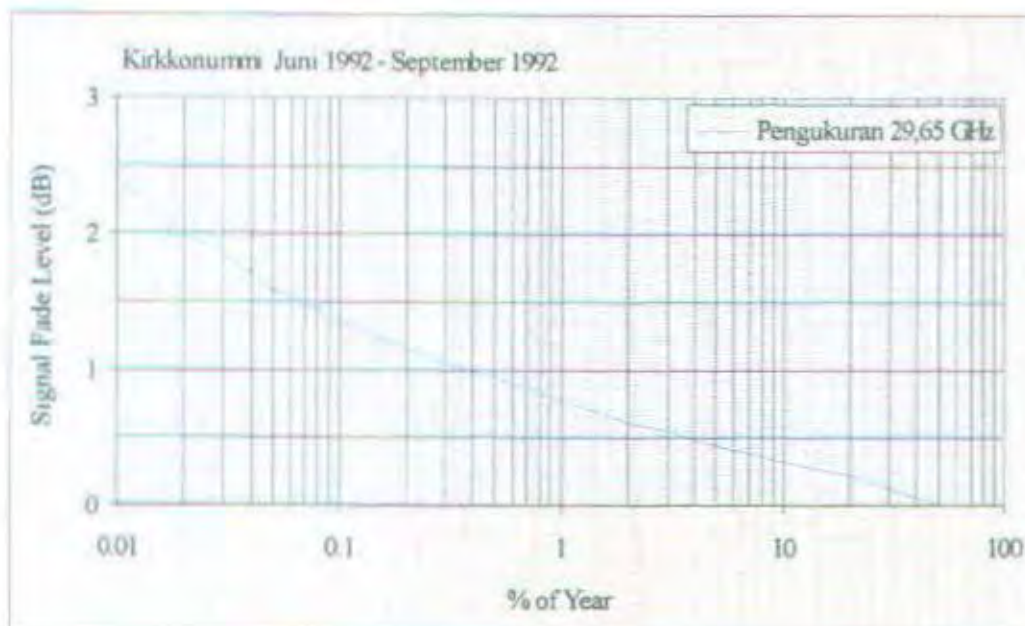


GAMBAR 5.6  
PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI REDAMAN AWAN  
DI DARMSTADT PADA FREKUENSI 29,65 GHz

Pada gambar 5.6 terlihat grafik hasil perhitungan redaman awan berada di atas grafik hasil pengukuran redaman awan sebesar  $\pm 4,8$  dB pada prosentase waktu 2% untuk frekuensi 29,65 GHz

#### 5.4. SCINTILASI TROPOSFER

Scintilasi menyebabkan jaringan reduksi pada sinyal selama prosentase waktu tertentu. Data pengukuran redaman scintilasi di daerah Kirkkonummi pada frekuensi 29,65 GHz periode Juni 1992 sampai September 1992 ditunjukkan pada gambar 5.7. Pada gambar ini ditunjukkan data redaman scintilasi hanya terdapat dari prosentase waktu 0,01% sampai 100%. Pada Prosentase waktu 0,01%, data pengukuran redaman scintilasi sebesar 2,4 dB.



GAMBAR 5.7<sup>47</sup>  
PENGUKURAN REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz

<sup>47</sup> D. Vanzosacker, et al, ATMOSPHERE SCINTILLATION (OPEN, Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction), p. 55

Perhitungan redaman scintilasi untuk daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$  dan diameter antena 1,8 m adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz:**

*Langkah 1:*

Harga rata-rata dari temperatur di daerah Darmstadt adalah  $25^\circ\text{C}$  dan relative humiditynya adalah 53,57%

*Langkah 2:*

Menghitung tekanan saturasi uap air dengan persamaan:

$$e_s = 6,1121 \cdot \exp \left[ \frac{17,502 \cdot 25}{25 + 240,97} \right]$$

$$= 31,67035$$

*Langkah 3:*

Menghitung  $N_{wet}$  'wet-term' berdasarkan nilai tekanan uap air dan relative humidity dengan persamaan:

$$N_{wet} = \frac{3730,53,57 \cdot 31,67035}{(273 + 25)^2}$$

$$= 71,26081$$

*Langkah 4:*

Menghitung standar deviasi dari sinyal amplitudo dengan persamaan:

$$\sigma_{ref} = 3,6 \cdot 10^{-3} + 10^{-4} \cdot 71,26081$$

$$= 0,010726$$



Langkah 5:

Menghitung panjang lintasan efektif dengan persamaan:

$$L = \frac{2.1000}{\sqrt{\sin^2 28 + 2,35 \cdot 10^{-4} + \sin 28}}$$

$$= 2130,479 \text{ m}$$

Langkah 6:

Menghitung diameter antena efektif dari diameter geometrik dan efisiensi antena dengan menggunakan persamaan:

$$D_{eff} = \sqrt{0,5 \cdot 1,8}$$

$$= 1,272792 \text{ m}$$

Langkah 7:

Menghitung faktor rata-rata antena:

$$g(X) = \sqrt{3,86 \cdot (0,027506^2 + 1)^{11/12} \cdot \sin\left(\frac{11}{6} \cdot \arctan \frac{1}{0,027506}\right) \cdot 7,08 \times 0,027506^{5/6}}$$

$$= 0,91216$$

dengan  $X = 1,22 \cdot (1,272792)^2 \cdot \left(\frac{29,65}{2130,479}\right)$

$$= 0,027506$$

Langkah 8:

Menghitung standar deviasi dari sinyal dengan persamaan:

$$\sigma = 0,010726 \cdot (29,65)^{7/12} \cdot \frac{0,91216}{(\sin 28^\circ)^{1/2}}$$

$$= 0,175188$$

*Langkah 9:*

Menghitung faktor prosentase waktu 0,01% dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} a(P) &= -0,061 \cdot (\log_{10} 0,01)^3 + 0,072 \cdot (\log_{10} 0,01)^2 - 1,71 \cdot \log_{10} 0,01 + 3 \\ &= 7,196 \end{aligned}$$

*Langkah 10:*

Menghitung fade depth scintilasi untuk prosentase waktu 0,01%:

$$\begin{aligned} x(P) &= 7,196 \times 0,175188 \\ &= 1,260655 \text{ dB} \end{aligned}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz:**

*Langkah 1:*

Harga rata-rata dari temperatur di daerah Darmstadt adalah 25°C dan relative humiditynya adalah 53,57%

*Langkah 2:*

$$e_s = 31,67035$$

*Langkah 3:*

$$N_{wet} = 71,26081$$

*Langkah 4:*

$$\alpha_{ref} = 0,010726$$

*Langkah 5:*

$$L = 2130,479 \text{ m}$$

*Langkah 6:*

$$D_{eff} = 1,272792 \text{ m}$$

Langkah 7:

$$g(x) = 0,933433$$

Langkah 8:

$$\sigma = 0,141527$$

Langkah 9:

$$a(P) = 7,196$$

Langkah 10:

$$x(P) = 1,018429 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan redaman scintilasi untuk lintasan uplink dan downlink di lokasi yang lain. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan tabel 5.6 untuk prosentase waktu 0,01%, dimana relative humidity di daerah Kirkkonummi lebih kecil dibandingkan dengan daerah Darmstadt. Sedangkan tabel 5.7 dan 5.8 untuk daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi untuk prosentase waktu 0,001% sampai 50%. Dari tabel perhitungan maka dapat dibuat grafik redaman scintilasi seperti pada gambar 5.8 dan 5.9.

TABEL 5.6  
PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI  
PADA PROSENTASE 0,01%

Lokasi	$\theta$ (derajat)	RH (%)	Standard deviasi	Fade depth $P_{0,01}$ (dB)
Kirkkonummi uplink	12,68	51,43	0,456973	3,288380
downlink			0,365682	2,631447
Darmstadt uplink	28	53,57	0,175188	1,260655
downlink			0,141527	1,018429

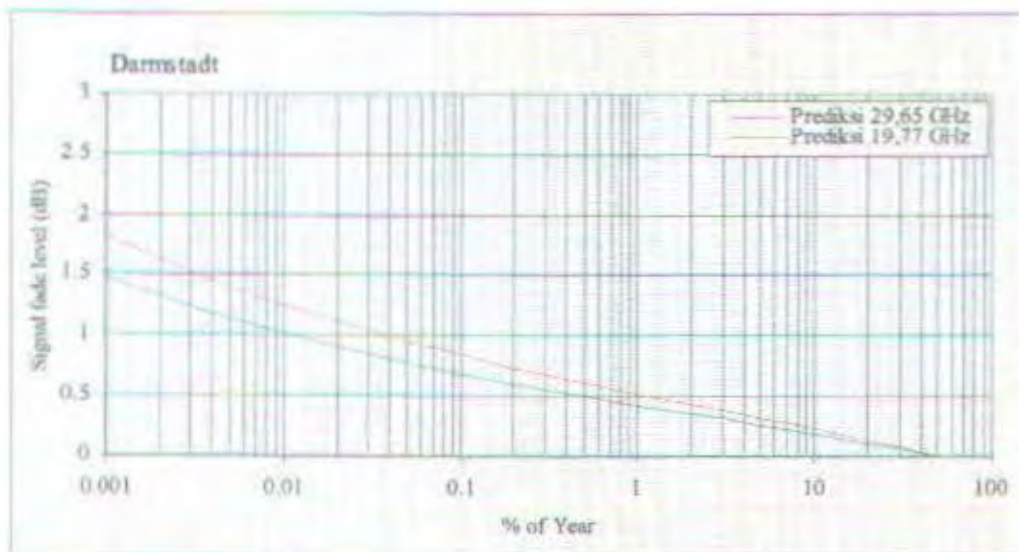


TABEL 5.7  
HASIL PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI DI DARMSTADT

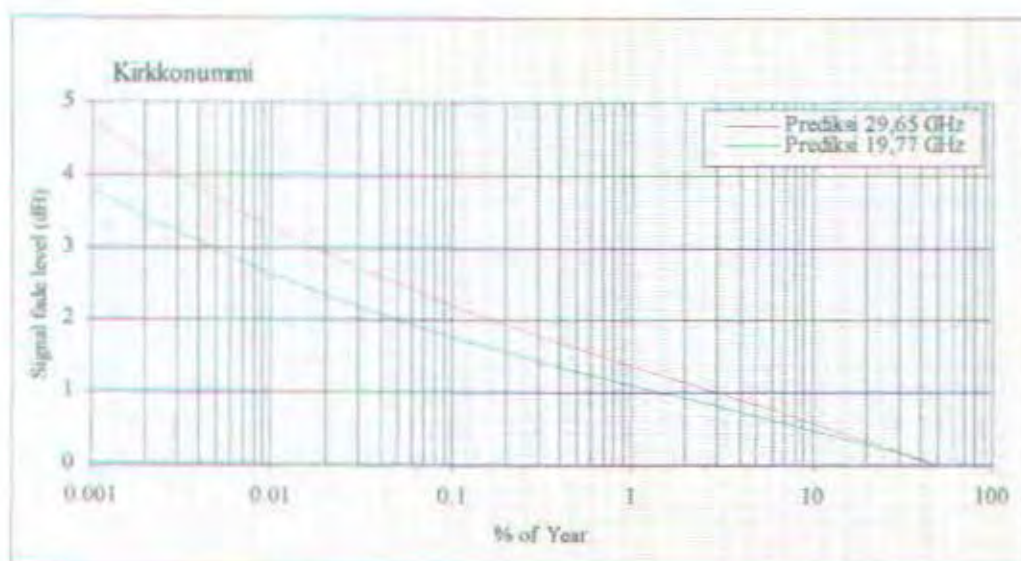
Prosentase Waktu (%)	Redaman Scintilasi (dB)	
	downlink	uplink
0,001	1,4754205	1,82633743
0,002	1,3217231	1,63608436
0,003	1,2386356	1,53323514
0,005	1,1405909	1,41187132
0,010	1,0184294	1,26065460
0,020	0,9075025	1,12334472
0,030	0,8472582	1,04877175
0,050	0,7757061	0,96020150
0,100	0,6854160	0,84843666
0,200	0,6016667	0,74476827
0,300	0,5551442	0,68718078
0,500	0,4985931	0,61717940
1,000	0,4245814	0,52556473
2,000	0,3524166	0,43623611
3,000	0,3104947	0,38434332
5,000	0,2574530	0,31868612
10,000	0,1841268	0,22791990
20,000	0,1079535	0,13362935
30,000	0,0615107	0,07614047
50,000	0,0004869	0,00060276

TABEL 5.8  
HASIL PERHITUNGAN REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI

Prosentase Waktu (%)	Redaman Scintilasi (dB)	
	downlink	uplink
0,001	3,8122346	4,76394621
0,002	3,4151068	4,26767679
0,003	3,2004228	3,99939771
0,005	2,9470921	3,68282382
0,010	2,6314475	3,28837956
0,020	2,3448315	2,93021088
0,030	2,1891704	2,73568955
0,050	2,0042919	2,50465671
0,100	1,7709978	2,21312148
0,200	1,5546039	1,94270561
0,300	1,4343978	1,79249037
0,500	1,2882793	1,60989388
1,000	1,0970459	1,37091977
2,000	0,9105844	1,13790877
3,000	0,8022651	1,00254797
5,000	0,6652146	0,83128315
10,000	0,4757522	0,59452221
20,000	0,2789334	0,34856814
30,000	0,1589330	0,19861013
50,000	0,0012582	0,00157228

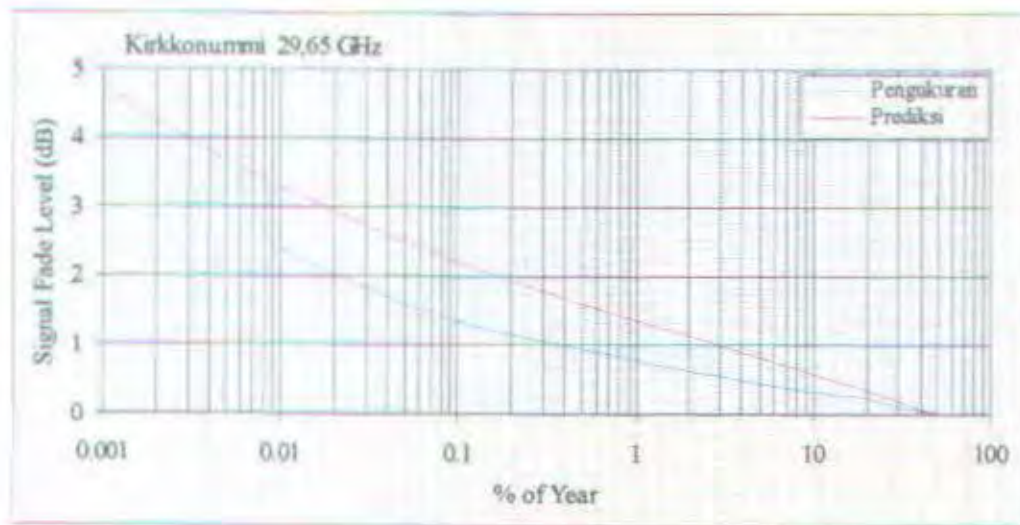


GAMBAR 5.8  
PREDIKSI REDAMAN SCINTILASI DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz



GAMBAR 5.9  
PREDIKSI REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz DAN 19,77 GHz





GAMBAR 5.10  
PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI  
REDAMAN SCINTILASI DI KIRKKONUMMI PADA FREKUENSI 29,65 GHz

Pada tabel 5.6 terlihat hasil perhitungan redaman scintilasi pada frekuensi 29,65 GHz dan 19,77 GHz pada prosentase waktu 0,01% di daerah Kirkkonummi adalah sebesar  $\pm 3,29$  dB dan  $\pm 2,63$  dB dengan relative humidity 51,43%. Sedangkan untuk daerah Darmstadt sebesar  $\pm 1,26$  dB dan  $\pm 1$  dB dengan relative humidity 53,57%. Redaman scintilasi di daerah Kirkkonummi lebih besar dibandingkan di daerah Darmstadt, hal ini disebabkan karena sudut elevasi daerah Kirkkonummi lebih kecil walaupun relative humidity di daerah Kirkkonummi lebih kecil dibandingkan di daerah darmstadt. Pada gambar 5.10 di Darmstadt untuk frekuensi 29,65 GHz terlihat hasil perhitungan redaman scintilasi berada di atas kurva hasil pengukuran redaman scintilasi sebesar  $\pm 0,89$  dB pada prosentase waktu 0,01%. Root Mean Square (rms) error perhitungan redaman scintilasi

dengan menggunakan persamaan (2.84) dan (2.85) di daerah Kirkkonummi pada frekuensi 29,65 GHz adalah sebesar 67,2%.

Secara umum besarnya redaman scintilasi dipengaruhi oleh sudut elevasi dan relative humidity. Semakin kecil sudut elevasi maka redaman scintilasi akan semakin besar dan semakin besar harga relative humidity akan mengakibatkan redaman scintilasi semakin besar..

## 5.5. LAPISAN MELTING

Adapun langkah-langkah perhitungan yang menunjukkan hubungan antara intensitas curah hujan pada 2 mm/h dan redaman khusus untuk menghitung redaman melting didalam lapisan melting untuk daerah Darmstadt pada sudut elevasi 28° adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz:**

*Langkah 1:*

Menghitung redaman khusus dari lapisan melting dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{m}} &= 0,498414 \cdot (2)^{1,095193} \\ &= 1,06482 \text{ dB/km}\end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}a &= 10 \cdot (-2,113 + 1,23 \cdot \log(29,65)) \\ &= 0,498414 \\ b &= 1,5 + 0,275 \cdot \log(29,65) \\ &= 1,095193\end{aligned}$$

*Langkah 2:*

Menghitung panjang lintasan lapisan melting dengan tebal lapisan melting diambil  $D_m = 0,5$  km

$$L_m = \frac{0,5}{\sin 28^\circ}$$

$$= 1,065524 \text{ km}$$

*Langkah 3*

Menghitung redaman lapisan melting dengan persamaan:

$$A_m = 1,06482 \times 1,065524$$

$$= 1,134591 \text{ dB}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz:**

*Langkah 1:*

$$\alpha_m = 0,668876 \text{ dB/km}$$

*Langkah 2:*

$$L_m = 1,065524 \text{ km}$$

*Langkah 3*

$$A_m = 0,712703 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan redaman melting untuk lokasi yang lain seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.9.. Besarnya redaman melting di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi dari hasil perhitungan untuk berbagai frekuensi pada tabel 5.10 dan dari tabel perhitungan ini dapat dibuat grafik redaman melting pada gambar 5.11 Besarnya redaman melting pada intensitas curah hujan yang sama dipengaruhi oleh frekuensi dan sudut elevasi.

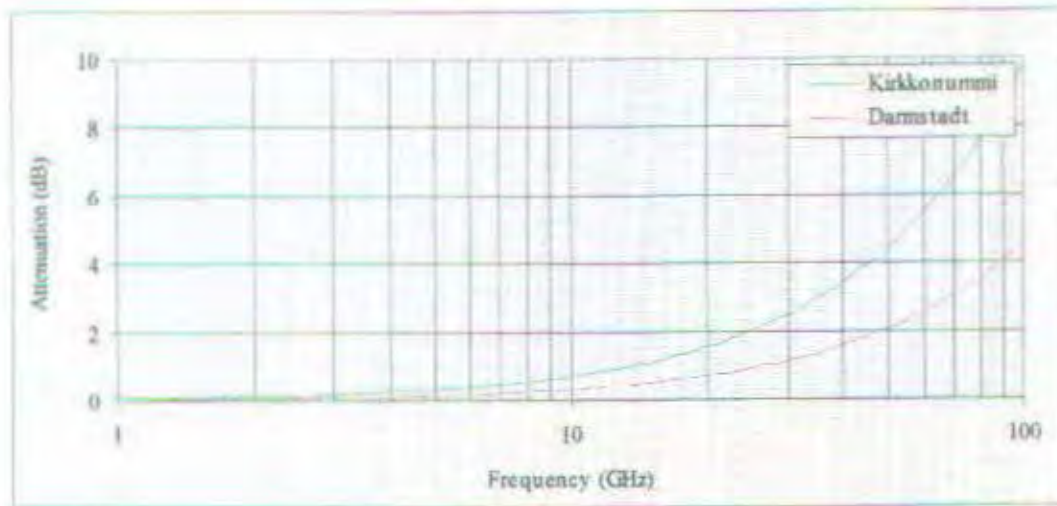


TABEL 5.9  
HASIL PERHITUNGAN REDAMAN MELTING

okasi	$\theta$ (derajat)	$\alpha_m$ (dB/km)	$L_m$ (km)	$A_m$ (dB)
Kirkkonummi	12,68		2,278982	
uplink		1,06482		2,426707
downlink		0,66887		1,524356
Darmstadt	28		2,278982	
uplink		1,06482		1,134591
downlink		0,66887		0,712703

TABEL 5.10  
PERHITUNGAN REDAMAN MELTING PADA BERBAGAI FREKUENSI

Frekuensi (GHz)	Redaman (dB)	
	Kirkkonummi	Darmstadt
19	1,46138527	0,68063340
20	1,54996031	0,72188682
21	1,63919000	0,76344513
22	1,72904764	0,80529591
23	1,81950879	0,84742777
24	1,91055098	0,88983025
25	2,00215349	0,93249369
26	2,09429714	0,97540917
27	2,18696413	1,01856839
28	2,28013787	1,06196363
29	2,37380289	1,10558767
30	2,46794468	1,14943377



GAMBAR 5.11  
REDAMAN SCINTILASI TERHADAP FREKUENSI

Redaman melting akan semakin besar apabila frekuensi semakin naik dan sudut elevasi semakin kecil. Hal ini disebabkan dengan sudut elevasi yang kecil, maka akan mengakibatkan panjang lintasan lapisan melting menjadi bertambah yang berpengaruh pada besarnya redaman total pada lintasan seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.9. Pada frekuensi 29,65 GHz dan 19,77 GHz redaman melting untuk daerah Darmstadt adalah sebesar  $\pm 1,13$  dB dan  $\pm 0,7$  dB dengan sudut elevasi  $28^\circ$ . Pada gambar 5.11 menunjukkan redaman melting dengan curah hujan 2 mm/h yang terjadi di daerah Kirkkonummi dengan sudut elevasi  $12,68^\circ$  pada frekuensi 1 GHz sampai 100 GHz lebih besar dibanding redaman melting yang terjadi di daerah Darmstadt dengan sudut elevasi  $28^\circ$ .

#### 4.6. REDAMAN HUJAN

Berdasarkan pembahasan beberapa model peramalan redaman propagasi karena hujan, dapat dibuat perkiraan berapa besar redaman hujan yang terjadi di



suatu daerah. Namun karena tiap-tiap daerah memiliki ciri-ciri yang bersifat sangat khas, maka peramalan besar redaman propagasi karena hujan akan sangat bervariasi antara lokasi yang satu dengan yang lainnya. Untuk itu dibutuhkan ketepatan dalam memilih metode yang paling sesuai untuk perhitungan redaman propagasi karena hujan pada lokasi yang bersangkutan.

Pada pembahasan tentang redaman hujan ini, dibahas hasil pengukuran redaman hujan dan prediksi redaman propagasi karena hujan pada dua lokasi di Eropa yaitu di daerah Darmstadt dan di daerah Kirkkonummi. Data-data pengukuran redaman propagasi karena hujan di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi diperoleh dari data-data hasil penelitian satelit Olympus. Berdasarkan hasil perbandingan antara metode peramalan dengan hasil pengukuran diharapkan dapat diperoleh hubungan antara intensitas curah hujan dengan besarnya redaman propagasi karena hujan.

#### **5.6.1. HASIL PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DAN PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI BEBERAPA LOKASI DI EUROPA.**

Pengukuran redaman hujan dilakukan di dua tempat di Eropa, yaitu di Darmstadt dan Kirkkonummi. Pengukuran redaman tersebut menggunakan sinyal beacon dari satelit Olympus pada frekuensi 19,77 GHz dan 29,65 GHz. Adapun karakteristik dari kedua stasiun bumi di Darmstadt dan Kirkkonummi dapat dilihat pada tabel 5.11.



TABEL 5.11  
KARAKTERISTIK STASIUN BUMI

Stasiun Bumi	Darmstadt	Kirkkonummi
Garis Lintang	49,87° LU	60,21° LU
Garis Bujur	8,62° BT	24,39° BT
Ketinggian	180 m	60 m
Sudut Elevasi	28°	12,68°

Pada gambar 5.12 menunjukkan intensitas curah hujan di daerah Kirkkonummi periode 1 Oktober 1991 sampai 30 september 1992 dan pada gambar 5.13 menunjukkan intensitas curah hujan di daerah Darmstadt periode Januari 1990 sampai Desember 1990. Untuk daerah Darmstadt data pengukuran intensitas curah hujan dari prosentase waktu 0,001% sampai 1%. Pada gambar 5.14 menunjukkan data redaman hujan di Kirkkonummi periode 1 Oktober 1991 sampai 30 september 1992 dan gambar 5.15 menunjukkan data redaman hujan di daerah Darmstadt periode Januari 1990 sampai Desember 1990. Intensitas curah hujan di daerah Kirkkonummi sebesar 31,2 mm/h pada prosentase waktu 0,01% dan di daerah Darmstadt sebesar 24,55 mm/h pada prosentase waktu 0,01%. Sedangkan data redaman hujan di daerah Kirkkonummi sebesar 26,5 dB untuk frekuensi 29,65 GHz dan 14,5 dB untuk frekuensi 19,77 GHz pada prosentase waktu 0,01%. Di daerah Darmstadt sebesar 25,43 dB untuk frekuensi 29,65 GHz dan 13,36 dB untuk frekuensi 19,77 GHz pada prosentase waktu 0,01%.

TABEL 5.12  
HASIL PENGUKURAN CURAH HUJAN DI KIRKKONUMMI  
PERIODE 1 OKTOBER 1991 SAMPAI 30 SEPTEMBER 1992

Prosentase Waktu (%)	Intensitas Curah Hujan (mm/h)
0,001	80,00
0,002	72,50
0,003	62,00
0,005	44,00
0,010	31,20
0,020	24,80
0,030	17,50
0,050	11,30
0,100	7,50
0,200	6,00
0,300	5,00
0,500	2,50
1,000	2,00
2,000	1,25
3,000	0,50
5,000	0,40
10,000	0,20

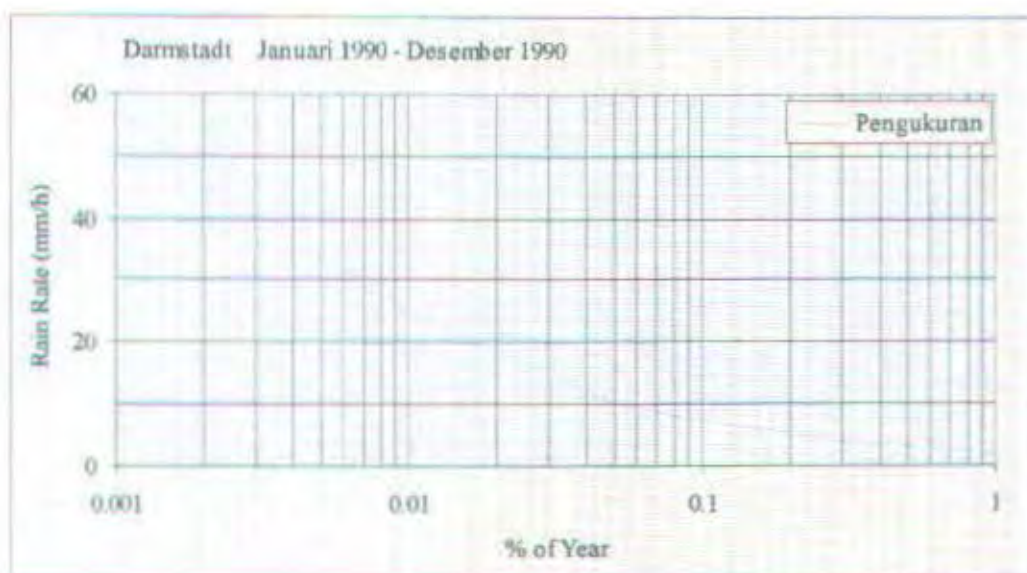
TABEL 5.13  
HASIL PENGUKURAN CURAH HUJAN DI DARMSTADT  
PERIODE JANUARI 1990 SAMPAI DESEMBER 1990

Prosentase Waktu (%)	Intensitas Curah Hujan (mm/h)
0,001	58,18
0,002	44,55
0,003	41,82
0,005	32,74
0,010	24,55
0,020	19,11
0,030	14,56
0,050	10,01
0,100	7,28
0,200	5,46
0,300	3,64
0,500	3,00
1,000	1,82
2,000	-
3,000	-
5,000	-
10,000	-





GAMBAR 5.12<sup>48</sup>  
PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI KIRKKONUMMI



GAMBAR 5.13<sup>49</sup>  
PENGUKURAN INTENSITAS CURAH HUJAN DI DARMSTADT

<sup>48</sup> J.P.V. Pinnes Baptista, EXPERIMENTAL DATA GRAPHS (OPEX, Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction)

<sup>49</sup> P.G. Davies, et al. STATISTICAL RESULTS AND MODELLING RELATED TO ATTENUATION MEASUREMENTS (OPEX, Reference Book on Attenuation Measurement and Prediction), p. 30

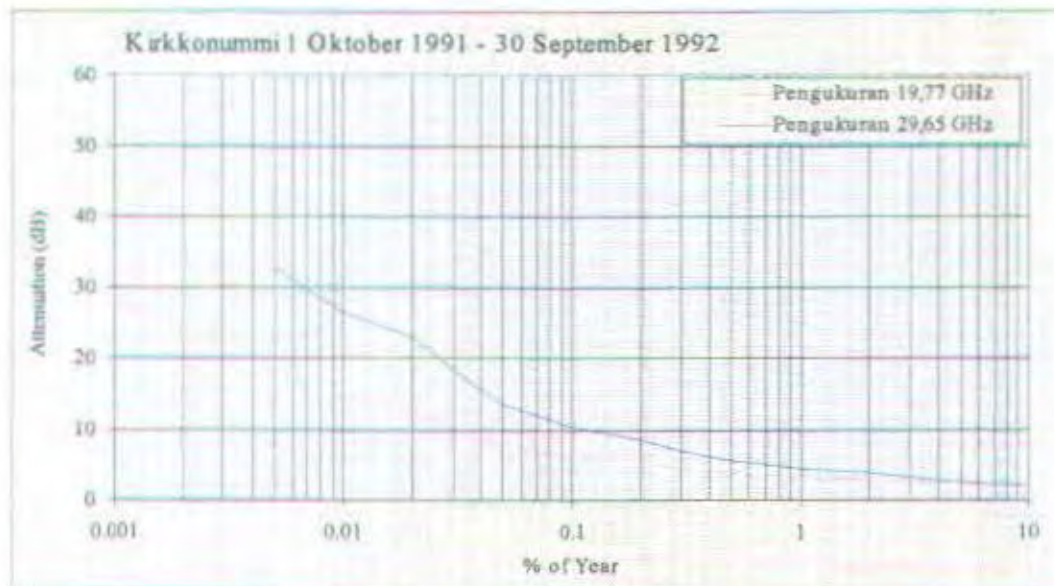
TABEL 5.14  
HASIL PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI  
PERIODE 1 OKTOBER 1991 SAMPAI 30 SEPTEMBER 1992

Prosentase Waktu (%)	Pengukuran (dB)	
	downlink	uplink
0,001	28,3	-
0,002	24,0	-
0,003	22,0	-
0,005	18,0	32,7
0,010	14,5	26,5
0,020	12,5	23,0
0,030	10,5	18,2
0,050	8,0	13,7
0,100	6,3	10,5
0,200	5,5	8,5
0,300	4,5	7,0
0,500	3,9	5,5
1,000	3,2	4,5
2,000	3,0	4,0
3,000	2,6	3,2
5,000	2,3	2,5
10,000	2,0	2,0

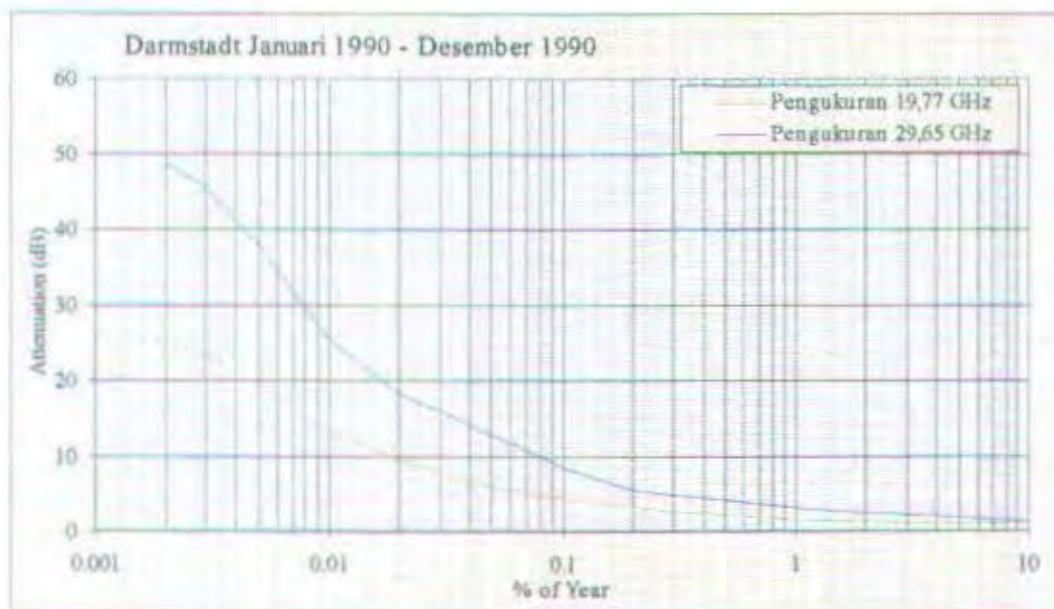
TABEL 5.15  
HASIL PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT  
PERIODE JANUARI 1990 SAMPAI DESEMBER 1990

Prosentase Waktu (%)	Pengukuran (dB)	
	downlink	uplink
0,001	26,68	-
0,002	25,00	48,52
0,003	23,36	45,72
0,005	19,48	37,86
0,010	13,36	25,43
0,020	9,40	18,29
0,030	7,80	15,72
0,050	6,12	12,86
0,100	4,48	8,58
0,200	3,30	5,72
0,300	2,80	5,00
0,500	2,24	4,29
1,000	1,68	3,15
2,000	1,40	2,57
3,000	1,23	2,15
5,000	1,12	1,86
10,000	1,10	1,43





GAMBAR 5.14<sup>50</sup>  
PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz



GAMBAR 5.15<sup>51</sup>  
PENGUKURAN REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz

<sup>50</sup> J.P.V. Potluri, *Raytracing 3D V. Potluri, Raytracing, Inc.*, cit.

<sup>51</sup> P.D. Davies, *op.cit.* p. 26



### 5.6.2.1. METODE DAH

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz**

*Langkah 1:*

Menghitung tinggi efektif hujan, karena latutude stasiun bumi lebih besar dari  $23^\circ$  maka persamaannya:

$$\begin{aligned} h_R &= 5 - 0,075(49,87 - 23) \\ &= 2,984825 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 2:*

Menentukan panjang lintasan efektif dengan persamaan:

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(2,984825 - 0,180)}{\sin 28^\circ} \\ &= 5,977215 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 3:*

Menghitung proyeksi horisontal dari panjang lintasan efektif dengan persamaan:

$$\begin{aligned} L_g &= 5,977215 \times \cos 28^\circ \\ &= 5,278263 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 4:*

Menghitung redaman spesifik pada intensitas curah hujan 0,01% dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= 0,1826(24,55)^{0,9941} \\ &= 4,39897 \text{ dB/km} \end{aligned}$$



Langkah 5:

Menghitung lintasan horisontal untuk 0,01% waktu:

$$\begin{aligned} rh_{0,01} &= \frac{1}{1 + 0,78 \sqrt{\frac{5,278263 \times 4,39897}{29,65}} - 0,38 [1 - \exp(-2 \times 5,278263)]} \\ &= 0,76321 \end{aligned}$$

Langkah 6:

Menghitung panjang lintasan hujan:

$$\begin{aligned} L_r &= \frac{5,278263 \times 0,76321}{\cos 28^\circ} \\ &= 4,561872 \text{ km} \end{aligned}$$

Langkah 7:

Menghitung lintasan vertikal untuk 0,01% waktu:

$$\begin{aligned} rv_{0,01} &= \frac{1}{1 + \sqrt{\sin 28^\circ} \left[ 31 (1 - e^{-28}) \sqrt{\frac{4,561872 \times 4,39897}{29,65^2}} - 0,45 \right]} \\ &= 1,390871 \end{aligned}$$

Langkah 8:

Menghitung panjang lintasan efektif hujan:

$$\begin{aligned} L_e &= 4,561872 \times 1,390871 \\ &= 6,344975 \text{ km} \end{aligned}$$

Langkah 9:

Menghitung besar redaman hujan pada 0,01% rata-rata tahunan dengan persamaan:

$$A_{0,01} = 4,39897 \times 6,344975$$

$$= 27,91135 \text{ dB}$$

*Langkah 10:*

Besar redaman hujan untuk prosentase yang lain, sebagai contoh untuk prosentase 0,001% dapat diperoleh dengan persamaan:

$$A_{0,001} = 27,91135 \left( \frac{0,001}{0,01} \right)^{-(0,655 + 0,0033 \ln 0,001 - 0,015 \ln 27,91135)}$$

$$= 52,84677 \text{ dB}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz**

Langkah-langkahnya sama dengan uplink, hanya frekuensinya 19,77 GHz.

*Langkah 1:*

$$h_R = 2,984825 \text{ km}$$

*Langkah 2:*

$$L_{\alpha} = 5,977215 \text{ km}$$

*Langkah 3:*

$$L_g = 5,278263 \text{ km}$$

*Langkah 4:*

$$\gamma_R = 2,046603 \text{ dB/km}$$

*Langkah 5:*

$$r_{h0,01} = 0,835714$$

*Langkah 6:*

$$L_{\alpha} = 4,995241 \text{ km}$$

*Langkah 7:*

$$rv_{0,01} = 1,387169$$

*Langkah 8:*

$$L_q = 6,929245 \text{ km}$$

*Langkah 9:*

$$A_{0,01} = 14,18141 \text{ dB}$$

*Langkah 10:*

$$A_{0,001} = 28,80226 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk lintasan uplink dan downlink di lokasi yang lain. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan tabel 5.16 dan tabel 5.17. Dan dari tabel tersebut dapat dibuat gambar 5.16 dan 5.17. Sedangkan grafik pengukuran redaman hujan tiap lokasi di Eropa dapat dilihat pada lampiran 4. Pada gambar 5.14 terlihat hasil perhitungan redaman hujan di daerah Darmstadt dengan metode DAH sebesar 14,181413 dB untuk prosentase waktu 0,01% dan frekuensi 19,77 GHz. Sedangkan pada frekuensi 29,65 GHz redamannya sebesar 27,911352 dB. Dan pada tabel 5.16 menunjukkan hasil perhitungan redaman hujan di daerah Kirkkonummi pada prosentase 0,01% sebesar 21,421254 dB untuk frekuensi 19,77 GHz dan 40,672567 dB untuk frekuensi 29,65 GHz. Redaman hujan di daerah kirkkonummi lebih besar dibandingkan dengan di daerah Darmstadt, hal ini disebabkan intensitas curah hujan di daerah Kirkkonummi lebih besar dan sudut elevasinya lebih kecil

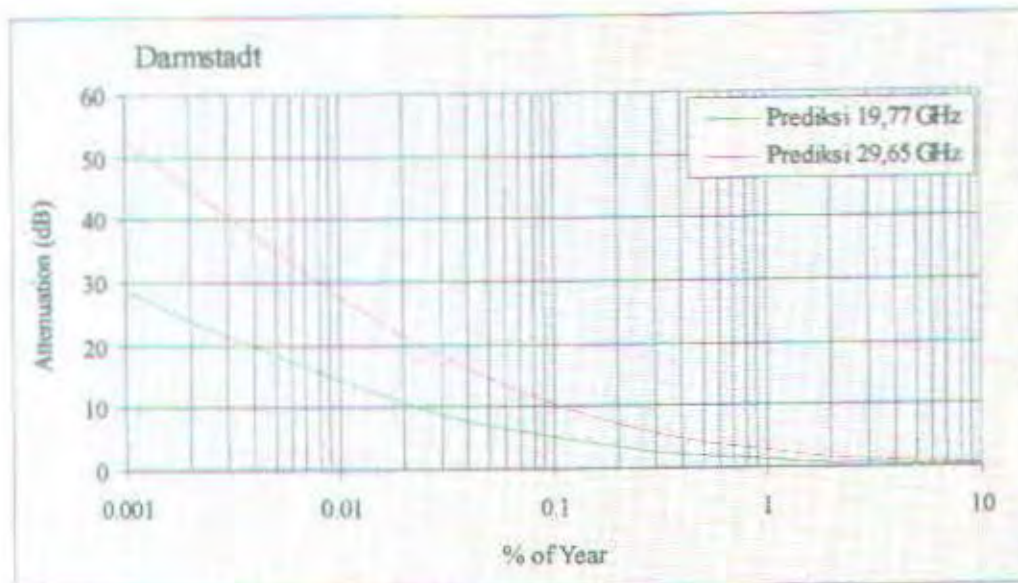


TABEL 5.16  
HASIL PERHITUNGAN RADAMAN HUJAN METODE DAH  
DI DARMSTADT

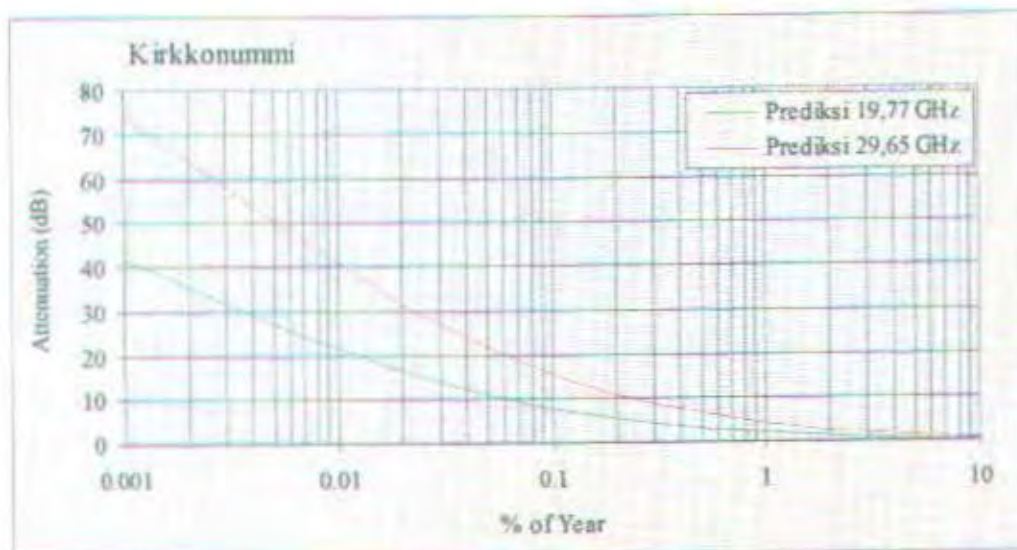
Prosentase Waktu (%)	Prediksi DAH (dB)	
	downlink	uplink
0,001	28,802265	52,846769
0,002	24,142692	45,242829
0,003	21,457028	40,709808
0,005	18,211123	35,093432
0,010	14,181413	27,911352
0,020	10,698696	21,506239
0,030	8,940340	18,195043
0,050	7,021124	14,513273
0,100	4,920868	10,388975
0,200	3,341222	7,204578
0,300	2,625233	5,731080
0,500	1,907682	4,229940
1,000	1,203354	2,725171
2,000	0,735375	1,700912
3,000	0,543264	1,272182
5,000	0,365287	0,868825
10,000	0,207383	0,503784

TABEL 5.17  
HASIL PERHITUNGAN RADAMAN HUJAN METODE DAH  
DI KIRKKONUMMI

Prosentase Waktu (%)	Prediksi DAH (dB)	
	downlink	uplink
0,001	41,686143	74,062051
0,002	35,394680	64,154560
0,003	31,694957	58,124659
0,005	27,156569	50,541261
0,010	21,421254	40,672567
0,020	16,369803	31,709227
0,030	13,782720	27,012069
0,050	10,927107	21,733467
0,100	7,757601	15,741163
0,200	5,335539	11,045190
0,300	4,223856	8,846768
0,500	3,098595	6,586797
1,000	1,979882	4,293400
2,000	1,225582	2,711378
3,000	0,912247	2,041930
5,000	0,619232	1,406640
10,000	0.3561072	0,825268



GAMBAR 5.16  
PREDIKSI REDAMAN HUJAN DAH DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz



GAMBAR 5.17  
PREDIKSI REDAMAN HUJAN DAH DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz .



### 5.6.2.2. Metode ITU-R

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

**Uplink yaitu pada frekuensi 29,65 GHz**

*Langkah 1:*

Menghitung tinggi efektif hujan, karena latutude stasiun bumi lebih besar dari  $36^\circ$  maka persamaannya:

$$\begin{aligned} h_R &= 5 - 0,075(60,21 - 23) \\ &= 2,984825 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 2:*

Menghitung panjang lintasan, karena sudut elevasi lebih besar dari  $5^\circ$  maka persamaannya:

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(2,984825 - 0,180)}{\sin 28^\circ} \\ &= 5,977215 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 3:*

Proyeksi horisontal dari panjang jalur efektif didapatkan dari persamaan:

$$\begin{aligned} L_g &= 5,977215 \times \cos 28^\circ \\ &= 5,278263 \text{ km} \end{aligned}$$

*Langkah 4:*

Intensitas curah hujan untuk 0,01% waktu  $R_{0,01}$  ditentukan dari data setempat. Pada pembahasan ini, data intensitas curah hujan diambil di daerah Darmstadt pada 0,01% waktu sebesar 24,55 mm/h.

*Langkah 5:*

Faktor reduksi  $r_{0,01}$  untuk 0,01% waktu:

$$\begin{aligned} L_{0,01} &= 35 \cdot \exp(-0,015 \times 24,55) \\ &= 24,218 \text{ km} \\ r_{0,01} &= \frac{1}{1 + \frac{5,277215}{24,218}} \\ &= 0,8211 \end{aligned}$$

*Langkah 6:*

Menentukan besarnya redaman spesifik dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= 0,17004 \cdot (24,55)^{1,00351} \\ &= 4,399 \text{ dB/km} \end{aligned}$$

*Langkah 7:*

Menentukan redaman hujan untuk prosentase waktu 0,01% dari satu tahun rata-rata adalah:

$$\begin{aligned} A_{0,01} &= 4,399 \times 5,977215 \times 0,8211 \\ &= 21,547 \text{ dB} \end{aligned}$$

*Langkah 8:*

Menentukan redaman untuk berbagai prosentase waktu yang lain. Sebagai contoh diambil pada 0,001% waktu dengan persamaan:

$$\begin{aligned} A_p &= 21,547 \times 0,12 \times (0,001)^{-0,546 + 0,043 \log 0,001} \\ &= 46,17352 \text{ dB} \end{aligned}$$

**Downlink yaitu pada frekuensi 19,77 GHz**

Langkah-langkahnya sama dengan uplink, hanya frekuensinya diganti dengan 19,77 GHz dan didapatkan hasil sebagai berikut:

*Langkah 1:*

$$h_R = 2,984825 \text{ km}$$

*Langkah 2:*

$$L_q = 5,977215 \text{ km}$$

*Langkah 3:*

$$L_g = 5,278263 \text{ km}$$

*Langkah 4:*

$$R_{0,01} = 24,55 \text{ mm/h}$$

*Langkah 5:*

$$r_{0,01} = 0,8211$$

*Langkah 6:*

$$\gamma_R = 2,0466 \text{ dB/km}$$

*Langkah 7:*

$$A_{0,01} = 10,024 \text{ dB}$$

*Langkah 8:*

$$A_{0,001} = 21,482 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk lintasan uplink dan downlink di lokasi yang lain. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan tabel 5.18 dan tabel 5.19. Dan dari tabel tersebut dapat dibuat gambar 5.18 dan 5.19.

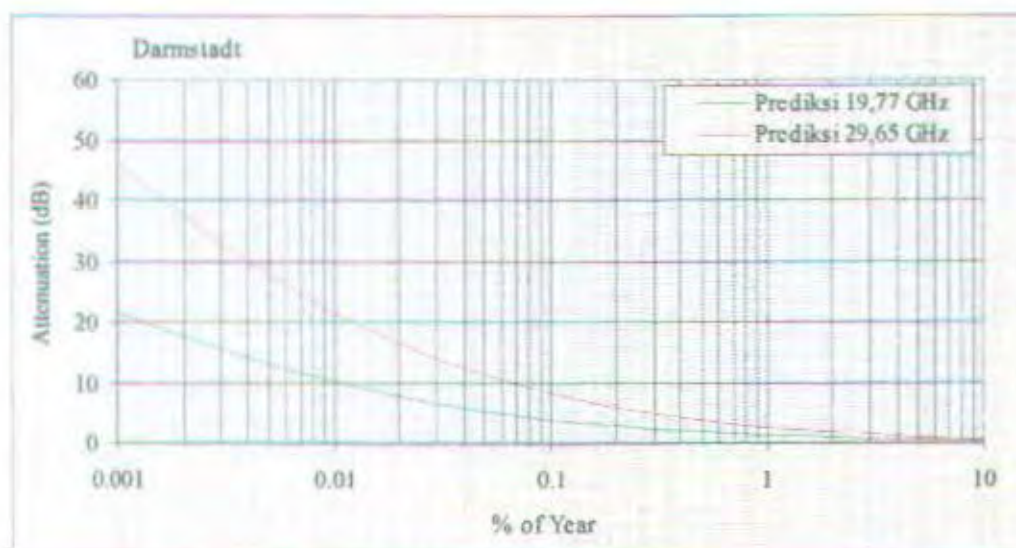


TABEL 5.18  
HASIL PERHITUNGAN RADAMAN HUJAN METODE ITU-R  
DI DARMSTADT

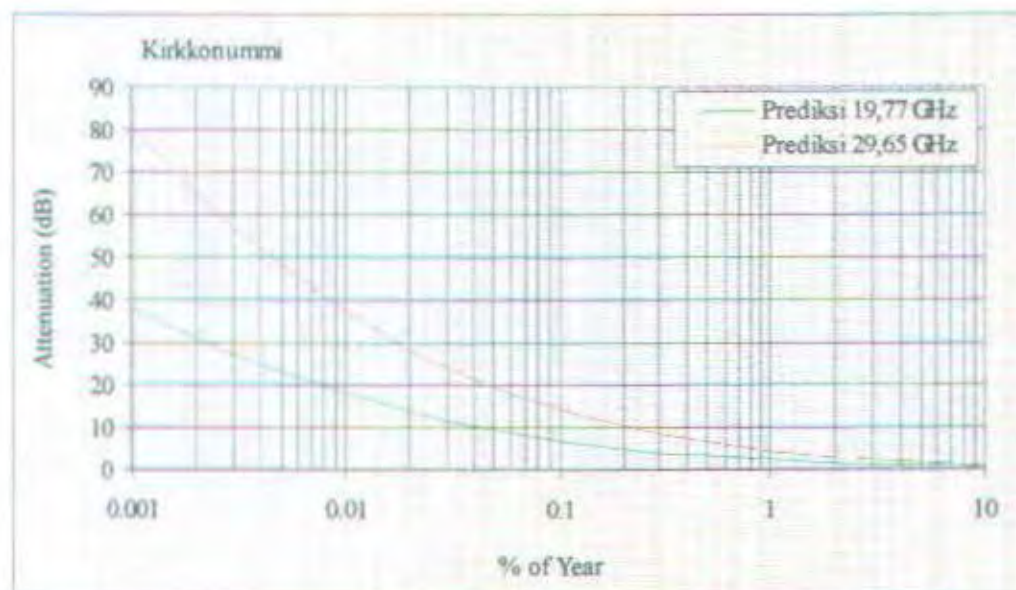
Prosentase Waktu (%)	Prediksi ITU-R (dB)	
	downlink	uplink
0,001	21,48204663	46,17352175
0,002	17,43742677	37,48001380
0,003	15,30650409	32,89980753
0,005	12,87550447	27,67461573
0,010	10,02479857	21,54730705
0,020	7,66644134	16,47825285
0,030	6,49895581	13,96885886
0,050	5,23182047	11,24527755
0,100	3,83774093	8,24884229
0,200	2,76506431	5,94323062
0,300	2,26365978	4,86551147
0,500	1,74397965	3,74851073
1,000	1,20524587	2,59055609
2,000	0,81811933	1,75846611
3,000	0,64681298	1,39026014
5,000	0,47690293	1,02505540
10,000	0,31051004	0,66741044

TABEL 5.19  
HASIL PERHITUNGAN RADAMAN HUJAN METODE ITU-R  
DI KIRKKONUMMI

Prosentase Waktu (%)	Prediksi ITU-R (dB)	
	downlink	uplink
0,001	38,29610099	80,43573611
0,002	31,08574653	65,29137014
0,003	27,28694507	57,31250587
0,005	22,95319565	48,21005639
0,010	17,87123476	37,53609077
0,020	13,66698513	28,70563793
0,030	11,58570560	24,33419420
0,050	9,32678011	19,58962936
0,100	6,84155085	14,36974431
0,200	4,92928742	10,35329582
0,300	4,03543225	8,47587497
0,500	3,10899710	6,53002432
1,000	2,14859499	4,51283069
2,000	1,45846349	3,06330361
3,000	1,15307520	2,42187717
5,000	0,85017611	1,78567894
10,000	0,55354707	1,16265012



GAMBAR 5.18  
PREDIKSI REDAMAN HUJAN ITU-R DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz



Gambar 5.19  
PREDIKSI REDAMAN HUJAN ITU-R DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz DAN 29,65 GHz



Pada gambar 5.18 terlihat hasil perhitungan redaman hujan di daerah Darmstadt dengan metode ITU-R sebesar 10,02479857 dB untuk prosentase waktu 0,01% dan frekuensi 19,77 GHz. Sedangkan pada frekuensi 29,65 GHz redamannya sebesar 21,54730705 dB. Dan pada gambar 5.19 menunjukkan hasil perhitungan redaman hujan di daerah Kirkkonummi pada prosentase 0,01% sebesar 17,87123476 dB untuk frekuensi 19,77 GHz dan 37,53609077 dB untuk frekuensi 29,65 GHz. Redaman hujan di daerah kirkkonummi lebih besar dibandingkan dengan di daerah Darmstadt, hal ini disebabkan laju curah hujan di daerah Kirkkonummi lebih besar dan sudut elevasinya lebih kecil.

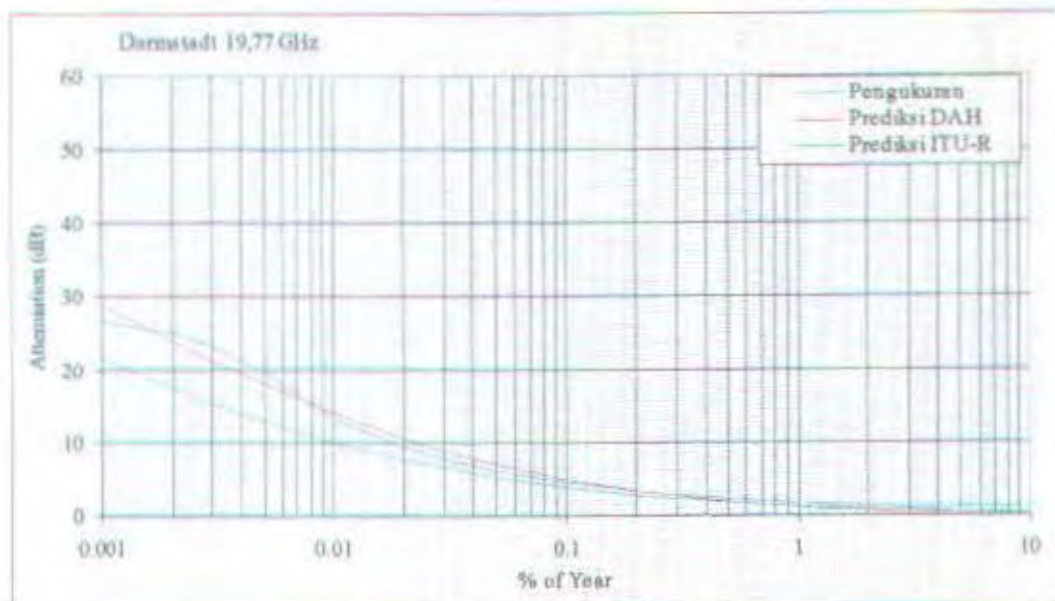
Dari tabel perhitungan dan grafik redaman hujan dapat disimpulkan bahwa secara umum semakin kecil sudut elevasi terhadap kedudukan satelit maka redaman hujan pada lintasan akan semakin besar, karena lintasan akan semakin panjang. Tetapi keadaan tersebut juga dipengaruhi oleh besar intensitas curah hujan pada lokasi yang bersangkutan, dimana semakin besar curah hujannya maka redaman spesifik akan semakin naik.

### **5.6.3. ANALISA HASIL PENGUKURAN DENGAN HASIL PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN**

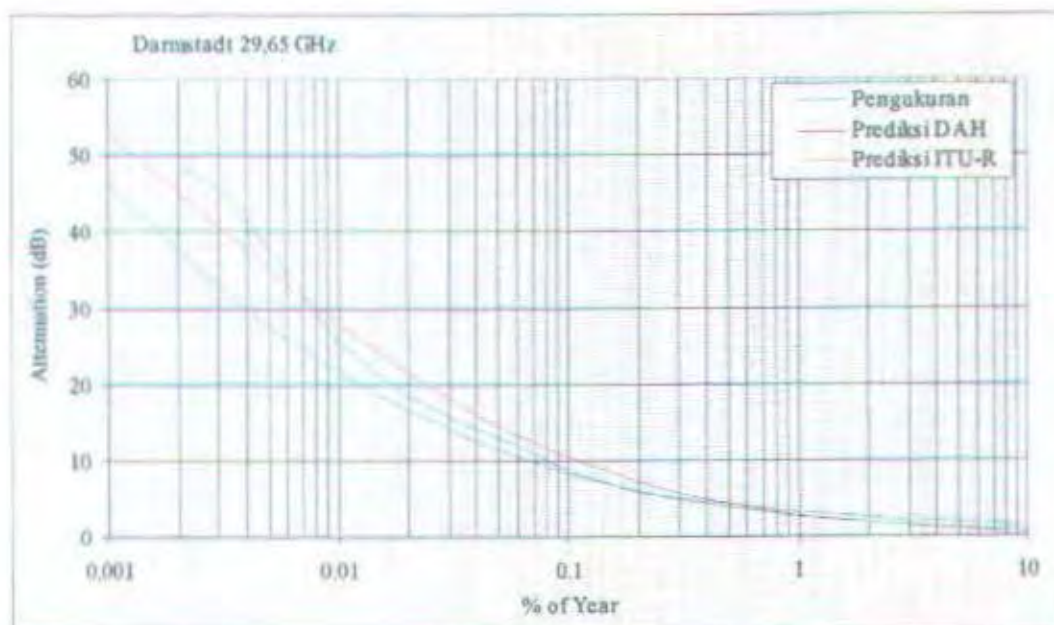
Jika hasil pengukuran redaman hujan dengan menggunakan satelit beacon receiver Olympus di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi dibandingkan dengan hasil prediksi redaman hujan di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi dengan menggunakan metode DAH dan ITU-R akan diperoleh pada gambar 5.20 dan gambar 5.21.

Dari gambar 5.20 pada frekuensi 19,77 GHz di daerah Darmstadt terlihat hasil perhitungan redaman hujan dengan metode DAH berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 1$  dB pada prosentase waktu 0,01%. Sedangkan dengan metode ITU-R berada di bawah kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 3$  dB untuk prosentase waktu 0,01%. Dari gambar 5.21 pada frekuensi 29,65 GHz di daerah Darmstadt terlihat hasil perhitungan redaman hujan dengan metode DAH berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 2,5$  dB pada prosentase waktu 0,01%. Sedangkan dengan metode ITU-R berada di bawah kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 4$  dB untuk prosentase waktu 0,01%. Dari gambar 5.22 pada frekuensi 19,77 GHz di daerah Kirkkonummi terlihat hasil perhitungan redaman hujan dengan metode DAH berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 7$  dB pada prosentase waktu 0,01% dan  $\pm 1,5$  dB untuk prosentase waktu 0,1%. Demikian juga dengan hasil pengukuran redaman hujan metode ITU-R berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 3,4$  dB untuk prosentase waktu 0,01% dan  $\pm 0,5$  dB untuk prosentase waktu 0,1%. Dari gambar 5.23 pada frekuensi 29,65 GHz di daerah Kirkkonummi terlihat hasil perhitungan redaman hujan dengan metode DAH berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 14$  dB pada prosentase waktu 0,01% dan  $\pm 5$  dB untuk prosentase waktu 0,1%. Demikian juga dengan hasil pengukuran redaman hujan metode ITU-R berada di atas kurva hasil pengukuran redaman hujan sebesar  $\pm 11$  dB untuk prosentase waktu 0,01% dan  $\pm 4$  dB untuk prosentase waktu 0,1%.



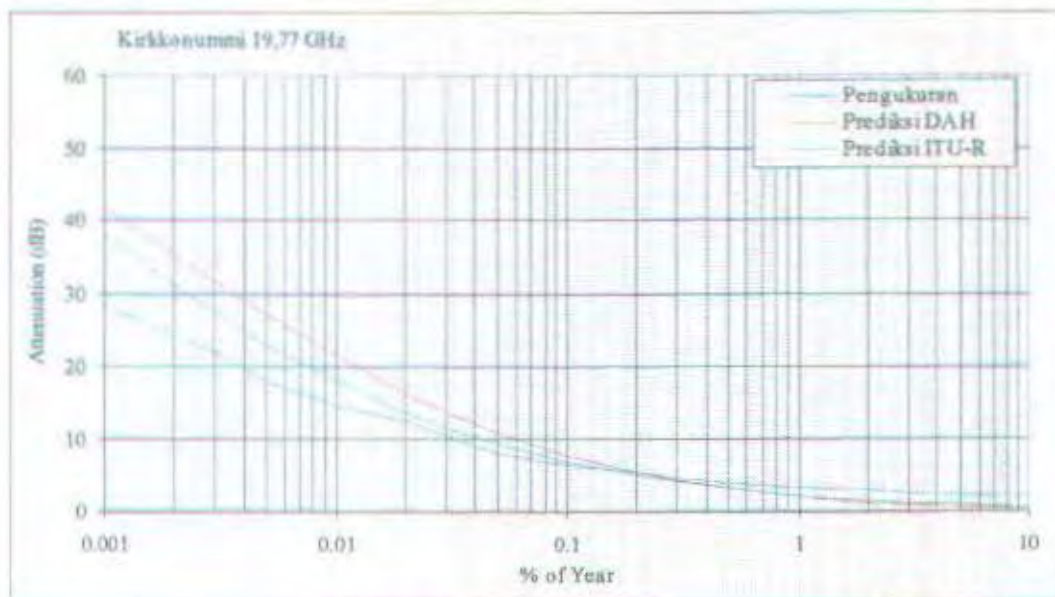


GAMBAR 5.20  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI  
REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz

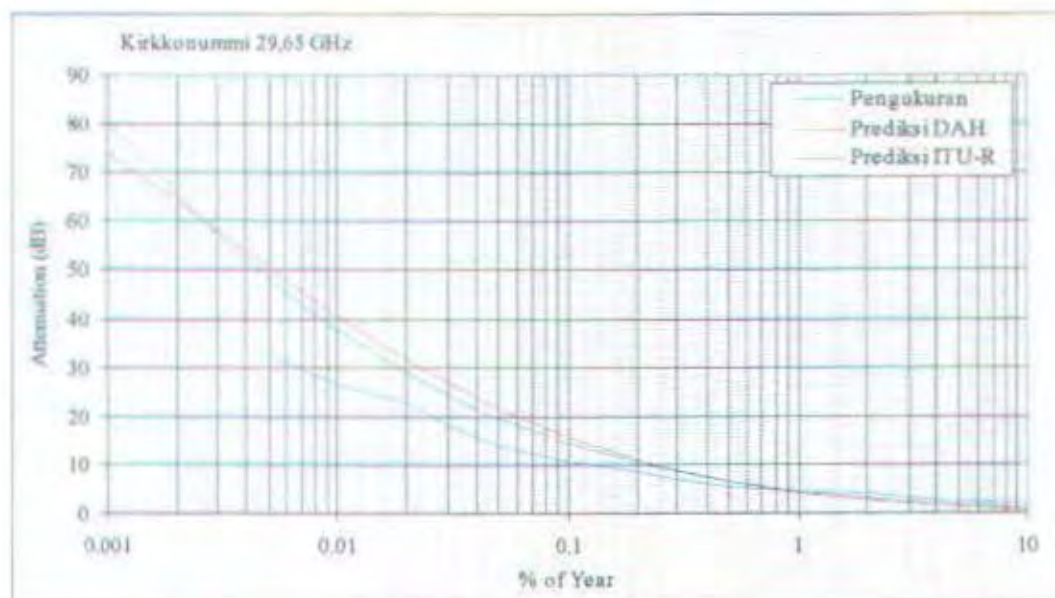


GAMBAR 5.21  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI  
REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz





GAMBAR 5.22  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI  
REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 19,77 GHz



GAMBAR 5.23  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI  
REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI  
PADA FREKUENSI 29,65 GHz

TABEL 5.20  
HARGA RMS ERROR

Lokasi	rms error (%)			
	DAH		ITU-R	
	downlink	uplink	downlink	uplink
Darmstadt	34,00548	28,74942	35,02918	26,15032
Kirkkonummi	47,98474	41,40094	36,38704	29,96386

Dari hasil perbandingan antara pengukuran redaman hujan dengan perhitungan redaman hujan menggunakan metode DAH dan ITU-R, maka perlu diketahui metode mana yang paling mendekati antara hasil pengukuran redaman hujan dengan hasil perhitungan redaman hujan di daerah Darmstadt dan daerah Kirkkonummi dengan menggunakan persamaan (2.84) dan (2.85) maka rms error didapat seperti tabel 5.20. Dari tabel 5.20 ditunjukkan prediksi redaman hujan metode ITU-R untuk daerah Kirkkonummi lebih mendekati redaman hasil pengukuran dibandingkan dengan prediksi DAH yang ditandai dengan harga rms error yang lebih kecil untuk frekuensi uplink dan downlink. Untuk daerah Darmstadt pada frekuensi 19,77 GHz prediksi DAH lebih mendekati hasil pengukuran dengan harga rms error sebesar 34,00548%. Sedangkan pada frekuensi 29,65 GHz prediksi ITU-R yang mendekati harga redaman hasil pengukuran dengan harga rms error sebesar 26,15032%.



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

---

#### **6.1. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan dari bab-bab sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Redaman propagasi di atmosfer memberikan pengaruh yang besar pada link transmisi komunikasi satelit. Semakin besar penggunaan frekuensi operasi pada link komunikasi maka akan semakin besar redaman propagasi di atmosfer, dimana redaman tersebut ditimbulkan oleh hujan, awan, scintilasi, melting dan oksigen serta uap air.
2. Besar redaman propagasi di atmosfer bergantung pada karakteristik iklim di lokasi pengoperasian komunikasi satelit. Redaman yang diakibatkan oleh scintilasi troposfer, lapisan melting dan gas mempunyai pengaruh yang sangat kecil. Redaman awan mempunyai pengaruh yang lebih kecil dibandingkan oleh redaman yang diakibatkan oleh hujan.
3. Untuk menghitung besar redaman propagasi karena hujan pada suatu daerah, dibutuhkan data rata-rata tahunan intensitas curah hujan pada daerah yang bersangkutan. Data-data ini diperoleh dari data intensitas curah hujan hasil pengukuran sekitar satu tahun di beberapa daerah di Eropa , dimana untuk



daerah Darmstadt sebesar 24,55 mm/h dan daerah Kirkkonummi sebesar 31,2 mm/h pada prosentase waktu 0,01%.

4. Berdasarkan data rata-rata tahunan intensitas curah hujan, dapat dibuat prediksi redaman propagasi karena hujan. Metode prediksi redaman hujan yang digunakan adalah metode DAH (Dissanayake, Allnutt dan Haidara) dan ITU-R. Untuk daerah Kirkkonummi yang mempunyai intensitas curah hujan yang lebih tinggi dari daerah Darmstadt pada availability 99,99% metode hujan ITU-R pada frekuensi 19,77 GHz redaman hujan yang merupakan penyumbang utama redaman propagasi berharga 17,87 dB, pada frekuensi 29,65 GHz besar redaman hujan berharga 37,54 dB. Sedangkan metode DAH pada availability 99,9% pada frekuensi 19,77 GHz redaman hujan berharga 7,76 dB dan pada frekuensi 29,65 GHz berharga 15,74 dB. Sedangkan redaman awan di Darmstadt pada frekuensi 19,77 GHz dengan availability 99% berharga 1 dB. Untuk redaman gas, melting dan scintilasi troposfer hanya menyumbang sedikit, kurang dari 4 dB pada availability 99,99%.
5. Secara umum pada pembahasan ini metode redaman hujan ITU-R mendekati harga redaman hasil pengukuran dibandingkan dengan metode redaman hujan DAH.

## 6.2. SARAN

Pada perancangan sistem komunikasi satelit dengan menggunakan frekuensi Ka-band, curah hujan yang tinggi merupakan faktor kendala utama dari

propagasi. Sehingga diperlukan suatu teknik *site diversity* yaitu dengan cara menempatkan beberapa stasiun bumi di tempat-tempat (*site*) yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

---

1. A. Dissanayake, J. Allnutt, F. Haidara, "A Prediction Model that Combines Rain Attenuation and Other Propagation Impairments Along Earth-Satellite Paths", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, No. 10, October 1997.
2. B. R. Arbesser-Rastburg, A. Paraboni, "European Research on Ka-Band Slant Path Propagation", Proceedings of IEEE, Vol. 85, No. 6, June 1997, p. 843.
3. B. R. Arbesser-Rastburg, G. Brussaard, "Propagation Research in Europe Using the OLYMPUS Satellite", Proceedings of IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993, p. 867.
4. CCIR Report 719-3, "Attenuation by Atmospheric gases", Propagation in Non-Ionized Media, Vol. 5, ITU, Geneva, 1990.
5. CCIR Report 564-4, "Propagation Data and Prediction Methods Required for Earth-Space Telecommunication System", Report of the CCIR, Propagation in Non-Ionized Media, Vol. 5, ITU, Geneva, 1990.
6. CCIR Report 721-3, "Attenuation by Hydrometeors, in Particular precipitation, and Other Atmospheric Particles", Report of the CCIR, Propagation in Non-Ionized Media, Vol. 5, ITU, Geneva, 1990.
7. D. Vanhoenacker, Baptista, "Atmosphere Scintillation", OPEX, Reference on Attenuation Measurement and Prediction



8. David V. Rogers, "System Requirements for Ka-Band Earth-Satellite Propagation Data", Proceedings of The IEEE, Vol. 85, No. 6, June 1997, p. 812.
9. F. Barbaliscia, "Atmosphere Measurements", OPEX, Radiometry and Meteorological Measurements, Reference Book, 1994.
10. F. Dintelmann, G. Fritz Rucker and R. Jakoby, "Results from 12-to 30- GHz German Propagation Experiments Carried Out with Radiometers and the OLYMPUS Satellite", Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993, p. 880.
11. <http://www.rcru.rl.ac.uk/welcome.htm>.
12. <http://www.esoc.esa.de/external/mso/olympus.html>.
13. [http://tele-satellite.com/tse/online/sat\\_olympus.html](http://tele-satellite.com/tse/online/sat_olympus.html).
14. J. P. V. Poiars Baptista, B. Arbesser-Rastburg, G. Brussaard, P. G. Davies, "Context of the Olympus Mission", OPEX, Reference on Attenuation Measurement and Prediction.
15. J. P. V. Poiars Baptista, B. Arbesser-Rastburg, G. Brussaard, P. G. Davies, "Basis of the Measurements with Olympus", OPEX, Reference on Attenuation Measurement and Prediction.
16. J. P. V. Poiars Baptista, P. G. Davies, A. Paraboni, C. Riva, O. Fiser, "Statistical Results and Modelling related to Attenuation Measurements", OPEX, Reference on Attenuation Measurement and Prediction.
17. Louis J. Ippolito, "Propagation Effects Handbook for Systems Design: A Summary of Propagation Impairments on 10 to 100 GHz Satellite Links with

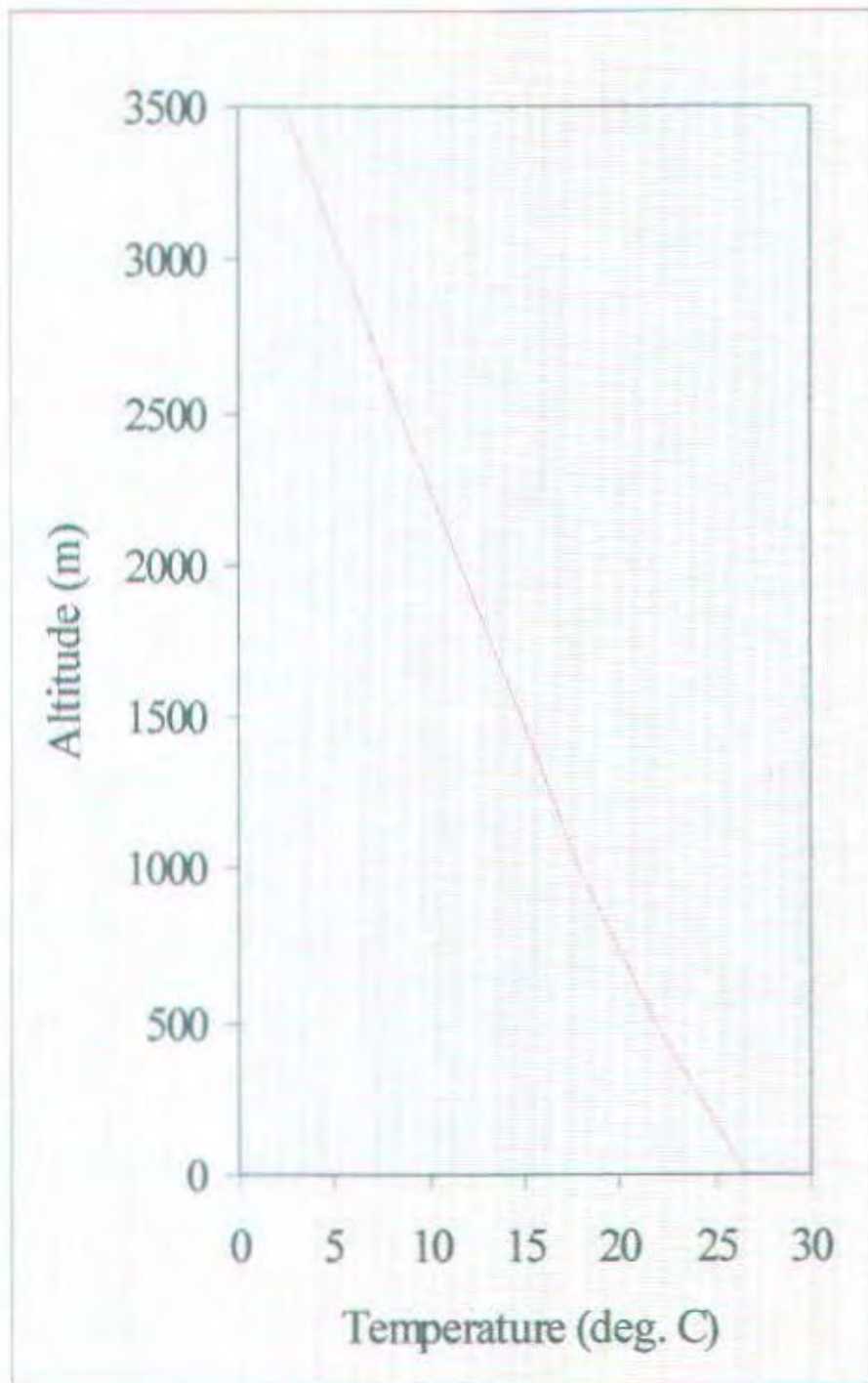
- Techniques for System Design", NASA Reference Publication 1082(04), 1989.
18. Louis J. Ippolito, Jr, "Radiowave Propagation in Satellite Communications", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986, p. 227.
  19. Mark Long, "From 4 to 12 GHz: The Evolution of Satellite Technology", The Ku-Band Satellite Handbook, p. 5.
  20. M. M. Z. Kharadly, Angela S. V. Choi, "A Simplified Approach to the Evaluation of EMW Propagation Characteristics in Rain and Melting Snow", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 36, No. 2, February 1988, p.282.
  21. Recommendation ITU-R PN.618-3, "Propagation data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-Space Telecommunications System", ITU-R Recommendations, PN series, ITU, Geneva, 1994, p. 335.
  22. R. K. Crane, "Prediction of Attenuation by Rain", IEEE Transaction Communication, Vol. 19, 1984, pp. 222-230.
  23. R. K. Crane, "Prediction Attenuation by Rain", IEEE Transaction on Communication, Vol. com-26, No. 9, September 1980, p. 1718.
  24. Rice, P.L., N.R. Holmberg, "Cumulative Time Statistics of Surface-Point Rainfall Rates", IEEE Transactions on Communication, Vol. com-21, No. 10, Oktober 1973, p. 1134.
  25. R. L. Olsen, D. V. Rogers, R. A. Hulays, M. Z. Kharadly, " Interference due to Hydrometeor Scatter on Satellite Communication Links", Proceedings of IEEE, Vol. 81, No. 6, June 1993, p. 915.

26. Timothy Pratt, Charles W. Bastian, "Satellite Communication", John Wiley & Sons, New York, 1986, p. 42.
27. Tri T. Ha, "Digital Satellite Communications", Macmillan Publishing Company, New York, p. 42.
28. W. L. Stutzman, T. Pratt, "Results from the Virginia Tech Propagation Experiment Using the Olympus Satellite 12, 20, and 30 GHz Beacons", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 43, No. 1, Januari 1995, pp. 54-56.

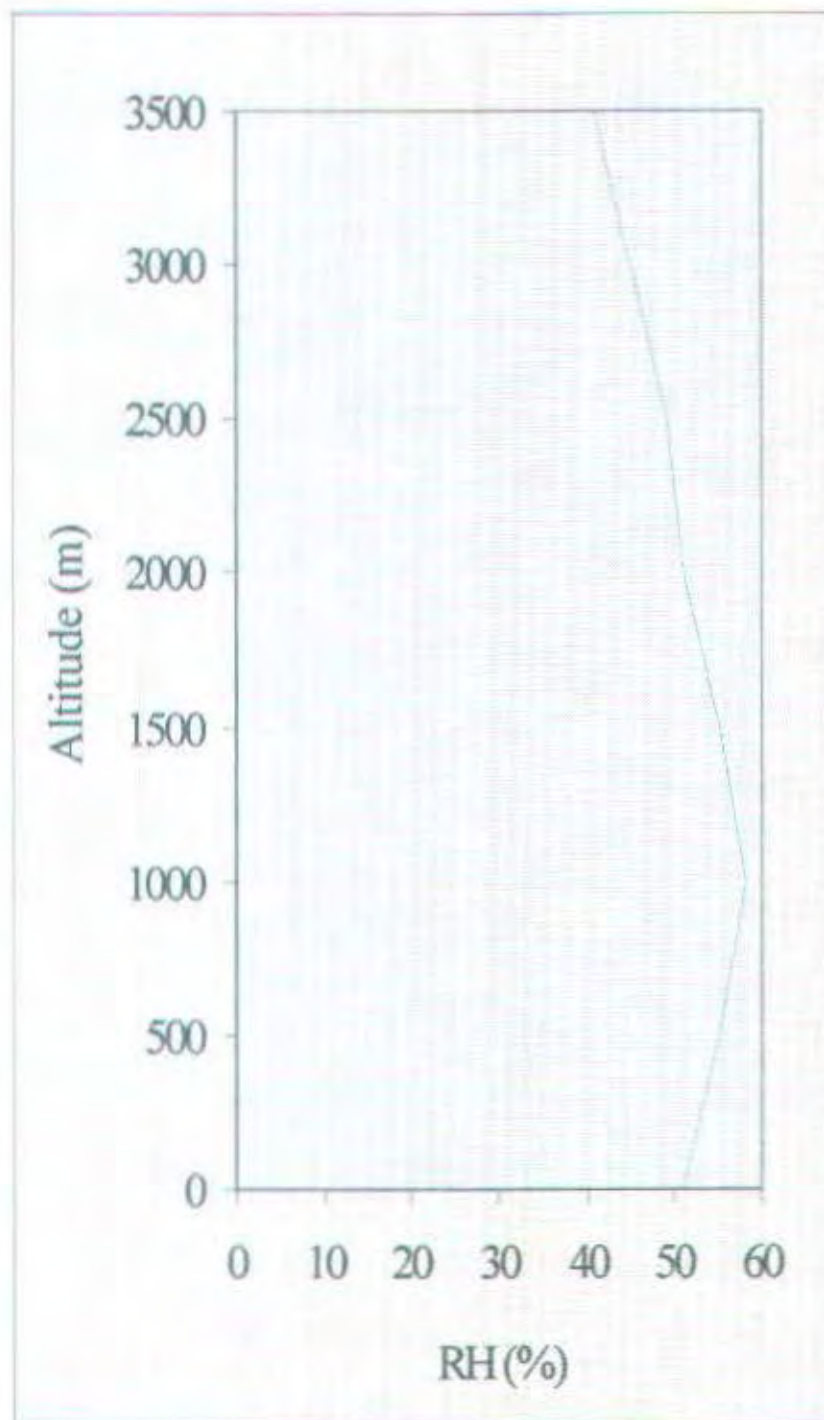


## **LAMPIRAN 1**

### **DATA IKLIM EROPA (Periode Juli)**



GRAFIK PERBANDINGAN  
ALTITUDE TERHADAP TEMPERATUR

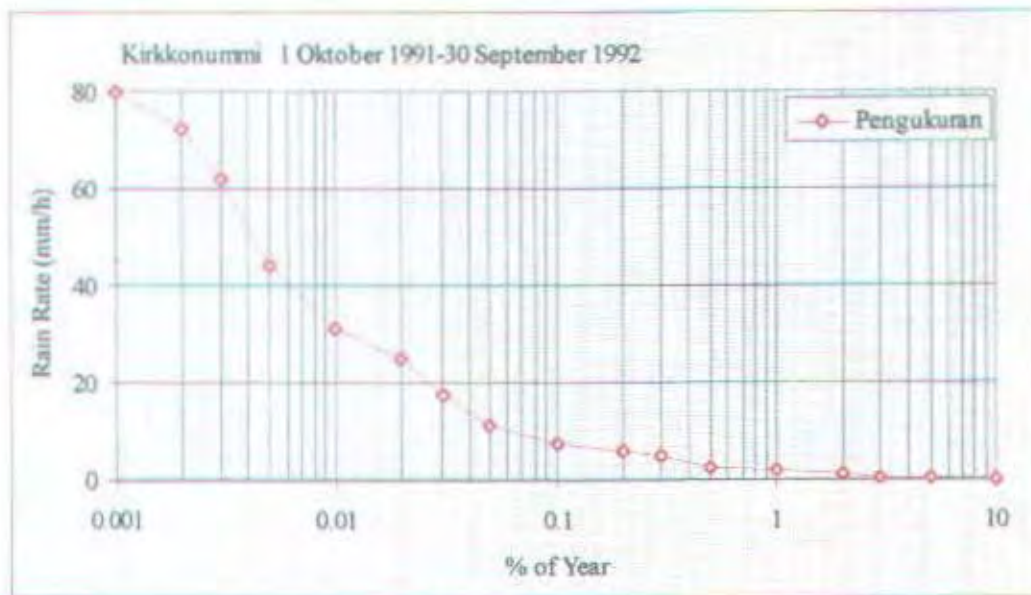


GRAFIK PERBANDINGAN  
ALTITUDE TERHADAP RELATIVE HUMIDITY

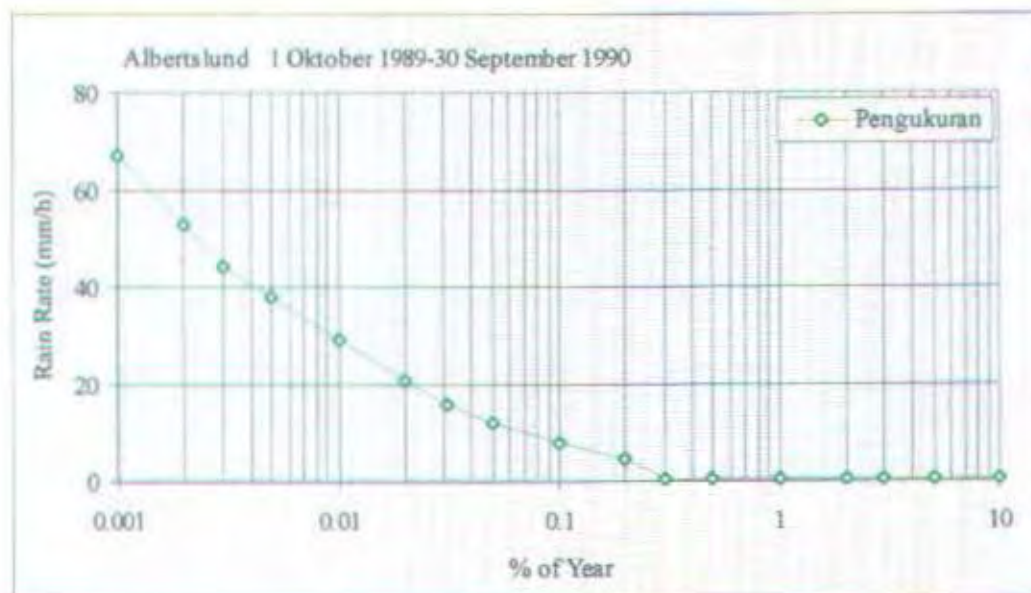


## LAMPIRAN 2

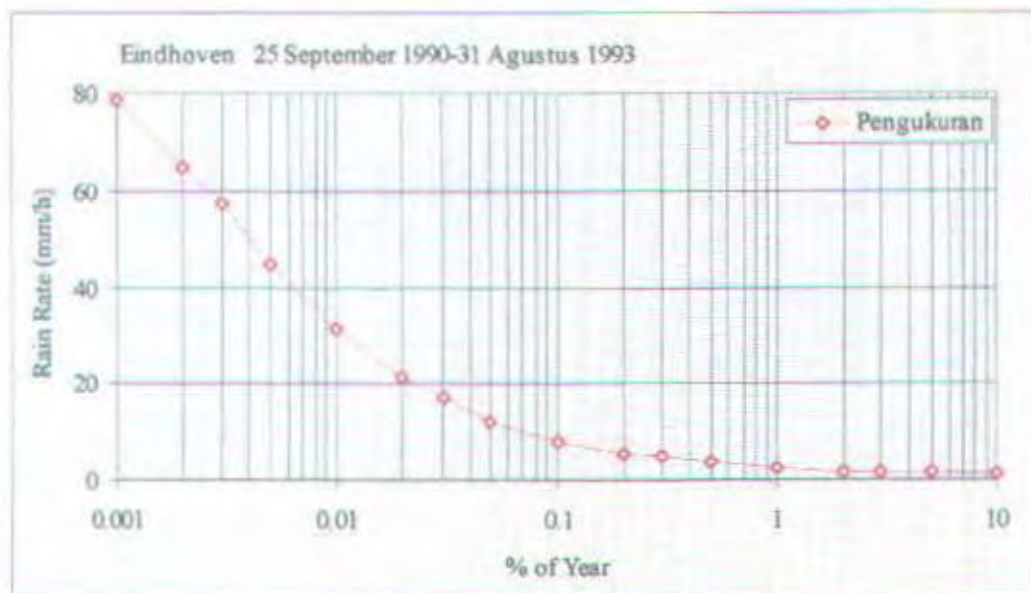
### GRAFIK DATA CURAH HUJAN



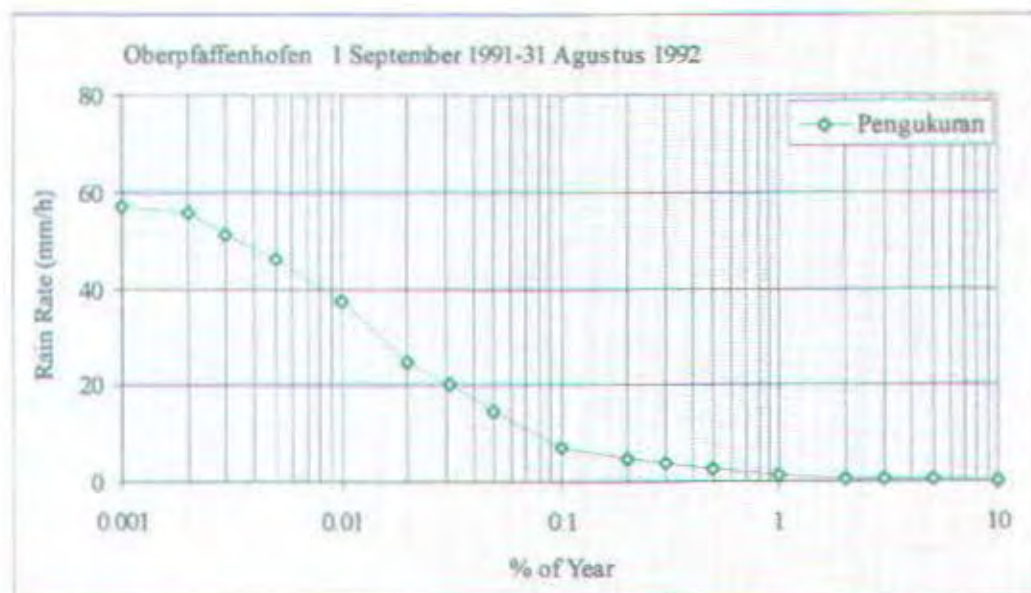
GRAFIK CURAH HUJAN DI KIRKKONUMMI



GRAFIK CURAH HUJAN DI ALBERTSLUND

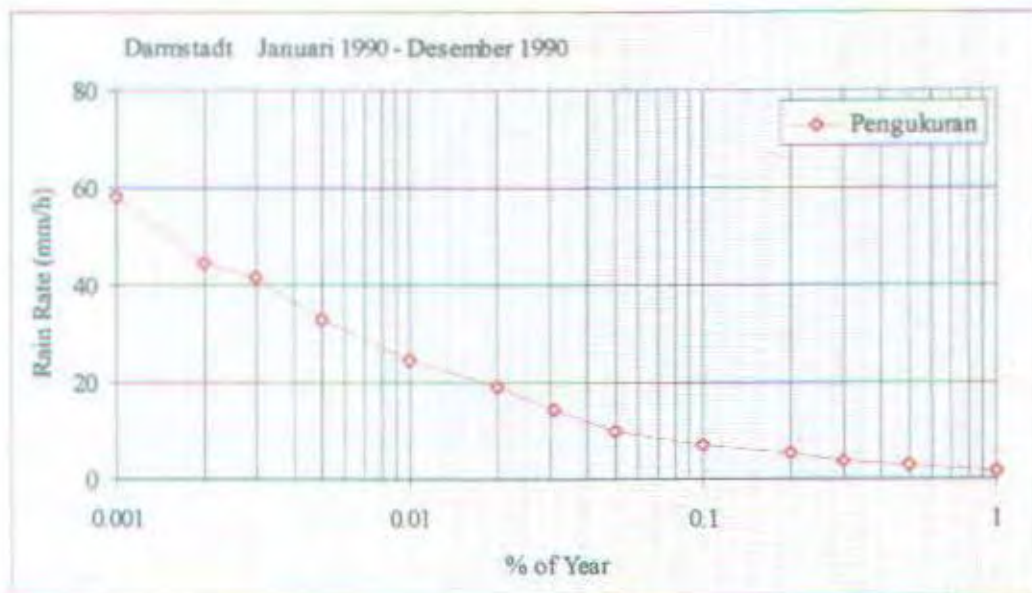


GRAFIK CURAH HUJAN DI EINDHOVEN

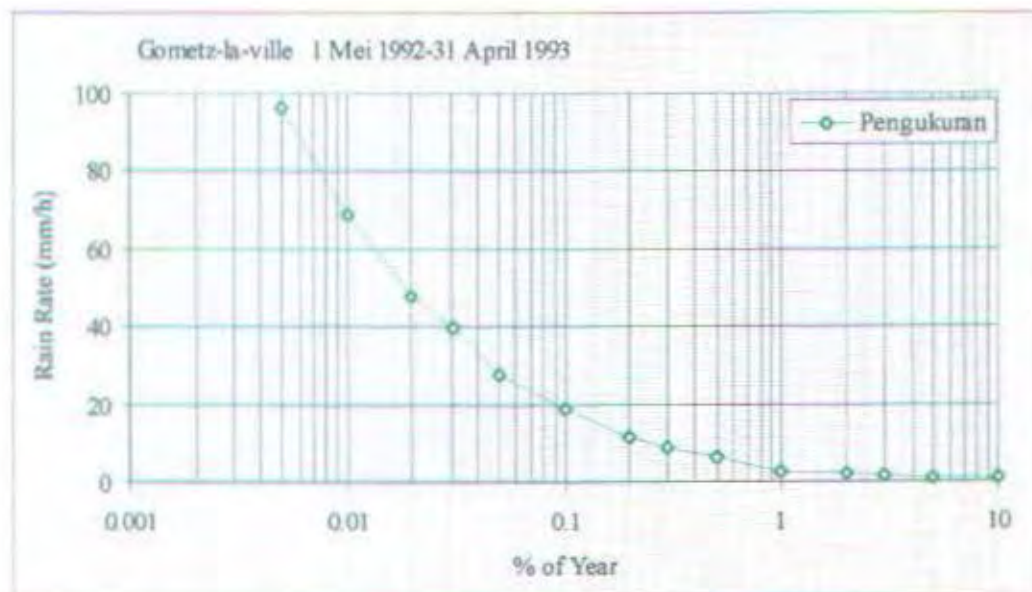


GRAFIK CURAH HUJAN DI OBERPFAFFENHOFEN

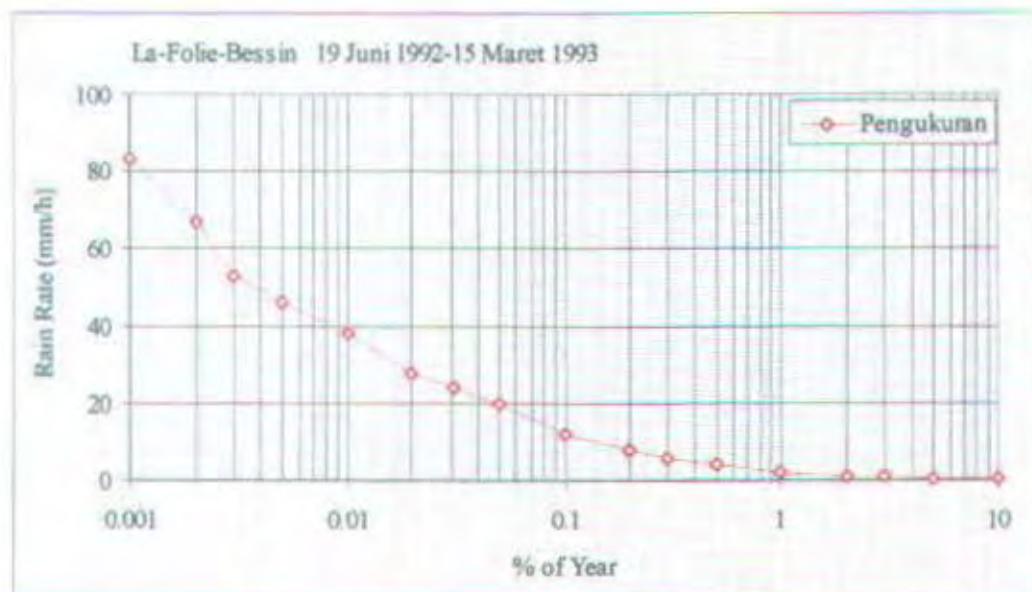




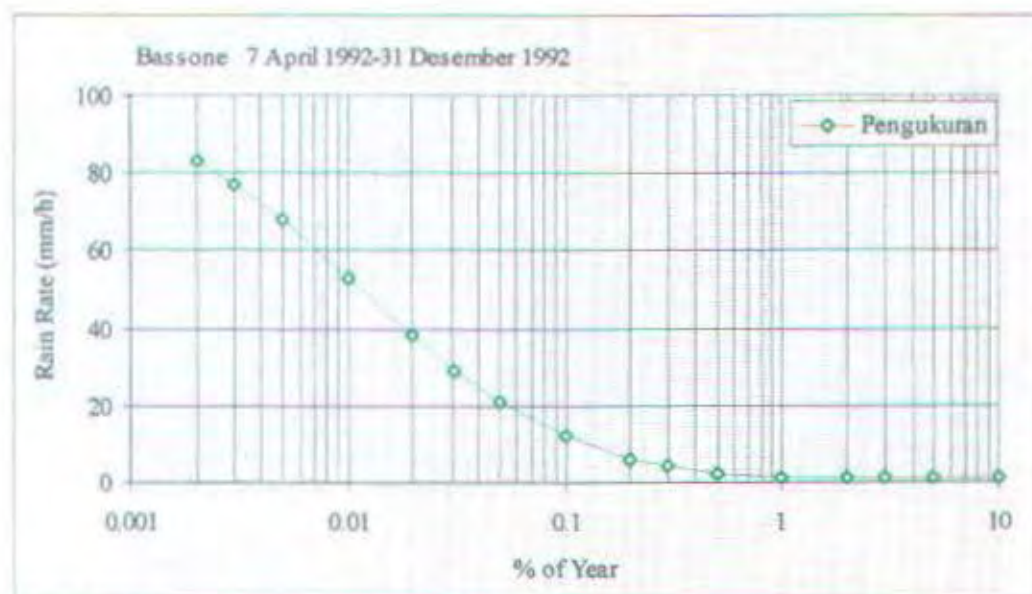
GRAFIK CURAH HUJAN DI DARMSTADT



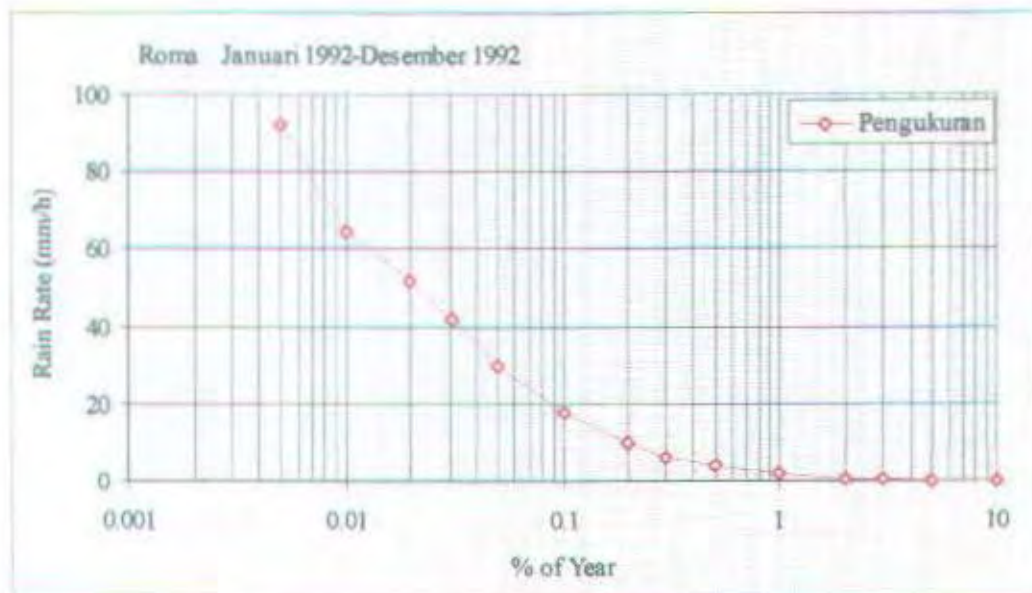
GRAFIK CURAH HUJAN DI GOMETZ-LA-VILLE



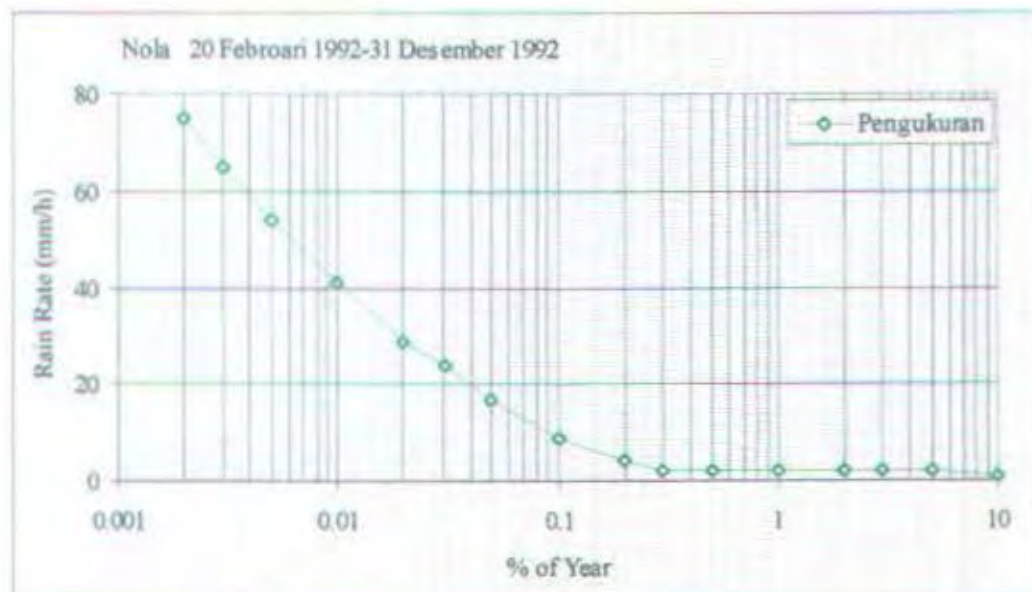
GRAFIK CURAH HUJAN DI LA-FOLIE-BESSIN



GRAFIK CURAH HUJAN DI BASSONE



GRAFIK CURAH HUJAN DI ROMA



GRAFIK CURAH HUJAN DI NOLA



## **LAMPIRAN 3**

DAFTAR LOKASI OPEX  
(Olympus Propagation Experiment)

# DAFTAR LOKASI ANGGOTA OPEX

Lokasi	Negara	Latitude (deg)N	Longitude (deg)E	Altitude. (m)	Sudut Elevasi (deg)
Graz	AT	47,0677	15,4944	489	25,75
Vienna	AT	48,1830	16,3940	298	24,65
Lessive	BE	50,2167	5,2500	162	27,81
Louvain	BE	50,6667	4,6167	160	27,61
Ottawa	CA	45,0000	-79,0000	100	14,08
Prague	CS	50,0361	14,4917	280	24,10
Darmstadt	DE	49,8690	8,6250	180	28
Oberpfaffenhofen	DE	48,0833	11,2833	580	26,76
Siegen	DE	50,9073	8,0299	353	25,92
Albertslund	DK	55,6800	12,3600	30	20,61
La Folie Bessin	FR	48,6530	2,1960	160	30,33
Gometz la Ville	FR	48,6710	2,1210	170	30,32
Ancona	IT	43,6000	13,4900	10	30,12
Bologna	IT	44,4900	11,3300	60	30,44
Brindisi	IT	40,6600	1,8000	20	29,72
Cagliari	IT	39,1500	9,1400	10	36,12
Catania	IT	37,5000	15,1400	40	33,78
Catanzaro	IT	38,9200	16,5900	300	31,49
Firenze	IT	43,7600	11,2600	50	31,10
Foggia	IT	41,4600	15,4900	70	30,58
Fucino	IT	41,9800	13,6000	6000	30,59
Genova	IT	44,3900	8,8900	20	31,79
Lario	IT	46,1500	9,4000	200	29,76
Linate	IT	45,4400	9,2700	120	30,54
Matera	IT	40,6600	16,5800	200	30,36
Milano Politecnico	IT	45,4600	9,2100	120	30,55
Nola	IT	40,8600	14,3000	30	31,79
Perugia	IT	43,1000	12,3900	500	30,48
Pisa	IT	43,7100	10,4100	10	31,62

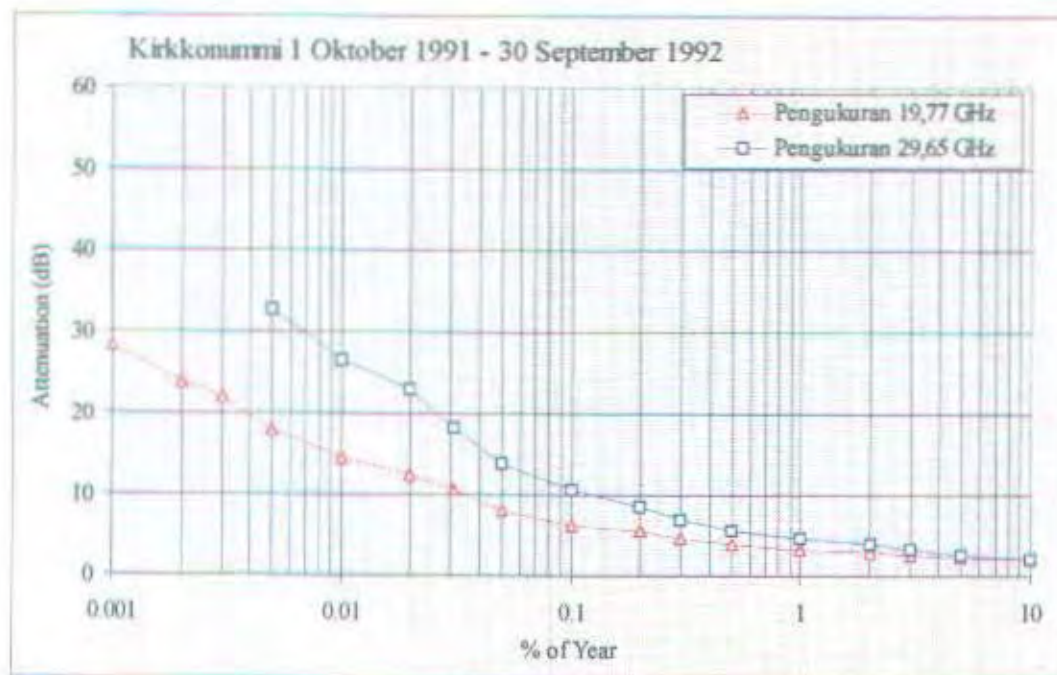


Lokasi	Negara	Latitude (deg)N	Longitude (deg)E	Altitude. (m)	Sudut Elevasi (deg)
Pratica	IT	41,6600	12,5000	20	32,19
Roma Eur	IT	41,8300	12,4700	50	32,04
Roma PMZ 1	IT	41,7000	12,5300	10	32,16
Spino d'Adda	IT	45,5000	9,5000	84	30,43
Torino	IT	45,1000	7,5200	230	31,49
Torino CSELT	IT	45,0670	7,6670	238	32,44
Trapani	IT	38,0200	12,5000	10	35,08
Trento	IT	46,0800	11,1200	190	29,04
Trieste	IT	45,6000	13,7800	10	28,37
Udine	IT	46,0000	13,1600	90	28,26
Bassone	IT	45,4000	11,0000	60	29,84
Delft	NL	52,0917	4,3889	10	26,54
Eindhoven	NL	51,4480	5,4870	15	26,78
Leidschendam	NL	51,0000	4,3722	8	27,58
Kjeller	NO	59,9833	11,0333	20	17,34
Miedzeszyn	PL	52,2500	21,0000	110	20,52
Aveiro	PT	40,6500	-8,9000	20	34,97
Kirkkonummi	SF	60,2168	24,3964	60	12,68
Chilton RAL	UK	51,5667	-1,2833	100	28,56
Coventry	UK	52,4167	-1,5167	100	27,76
Guildford	UK	51,2400	-0,5830	67	28,74
Martlesham	UK	52,0600	1,2857	25	27,48
Sparsholt	UK	51,8000	-1,3900	50	29,20
Blacksburg	US	37,2300	-80,4400	646	13,04
NASA Lewis	US	39,9667	-81,8656	221	11,64

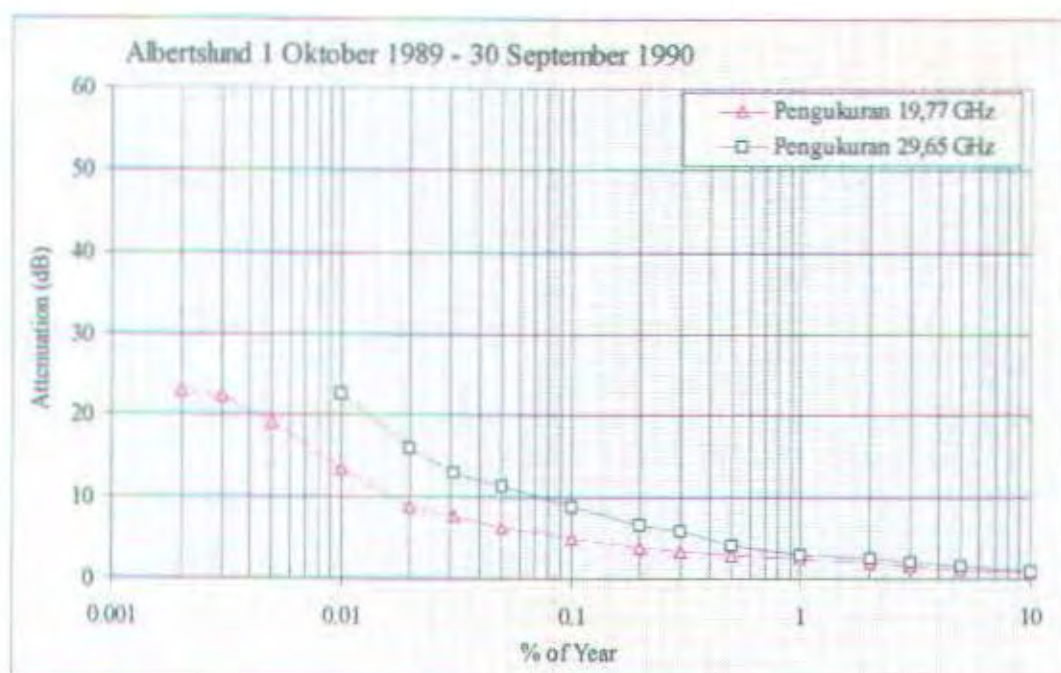


## LAMPIRAN 4

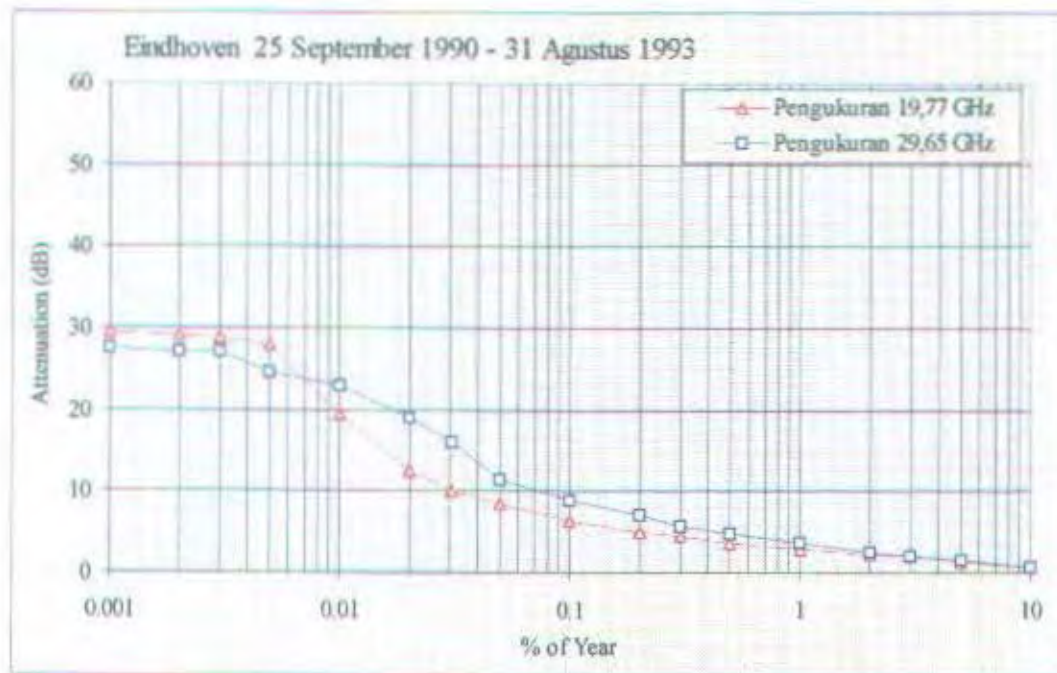
### GRAFIK DATA REDAMAN HUJAN



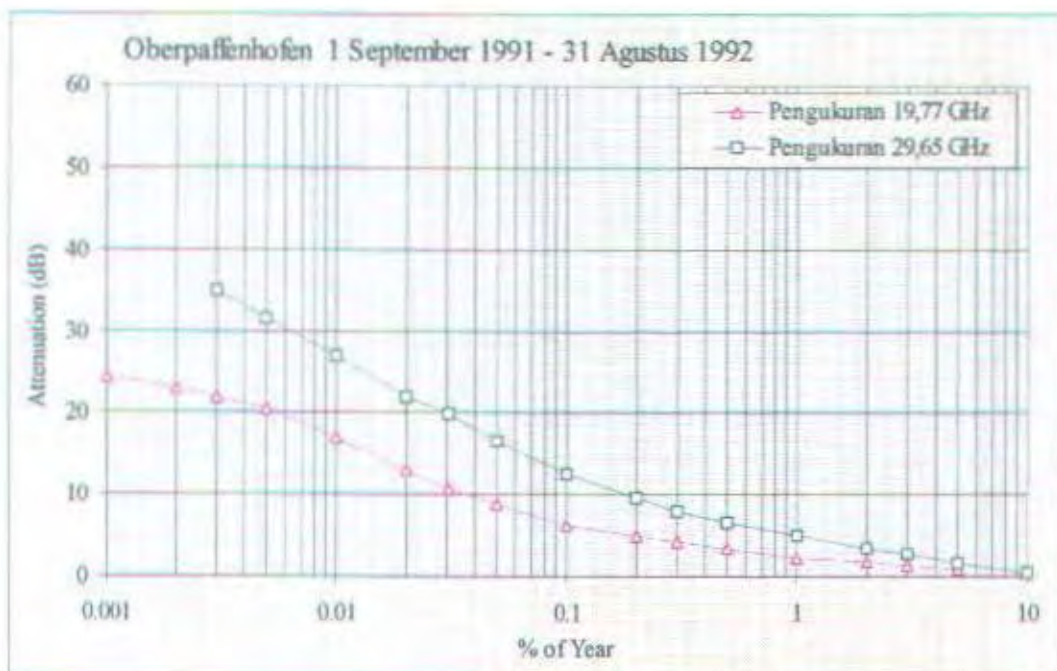
GRAFIK REDAMAN HUJAN DI KIRKKONUMMI



GRAFIK REDAMAN HUJAN DI ALBERTSLUND

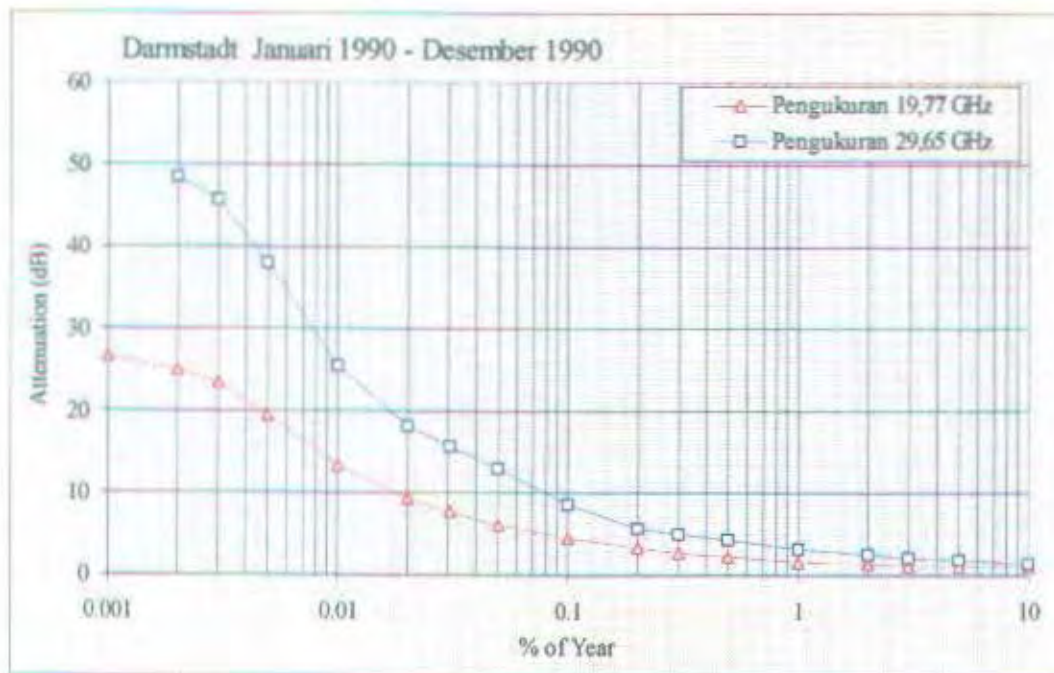


GRAFIK REDAMAN HUJAN DI EINDHOVEN

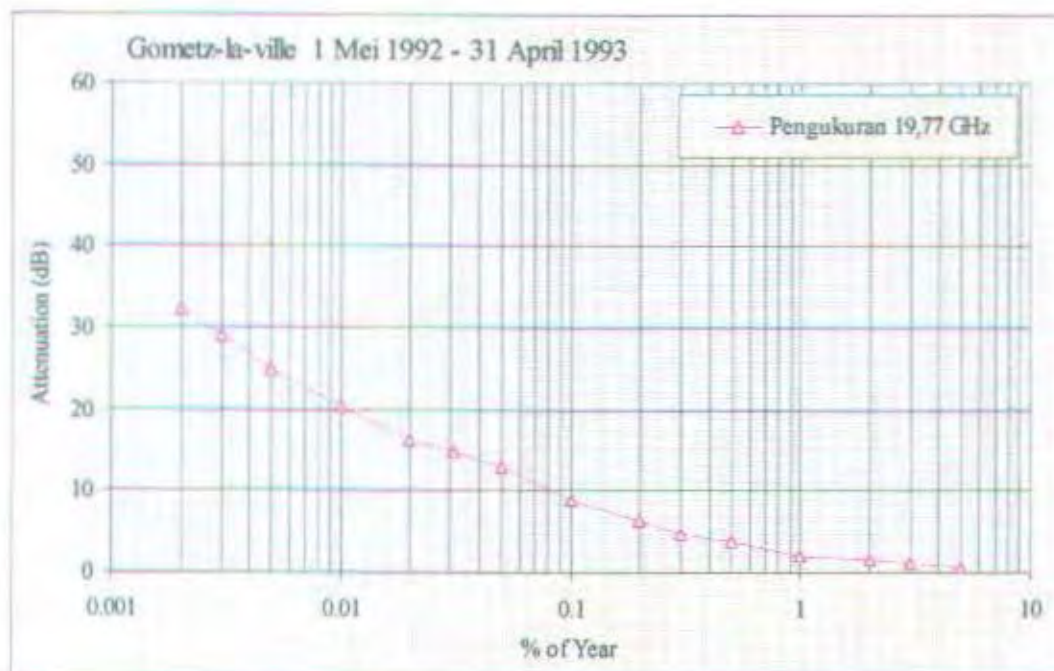


GRAFIK REDAMAN HUJAN DI OBERPFAFFENHOFEN

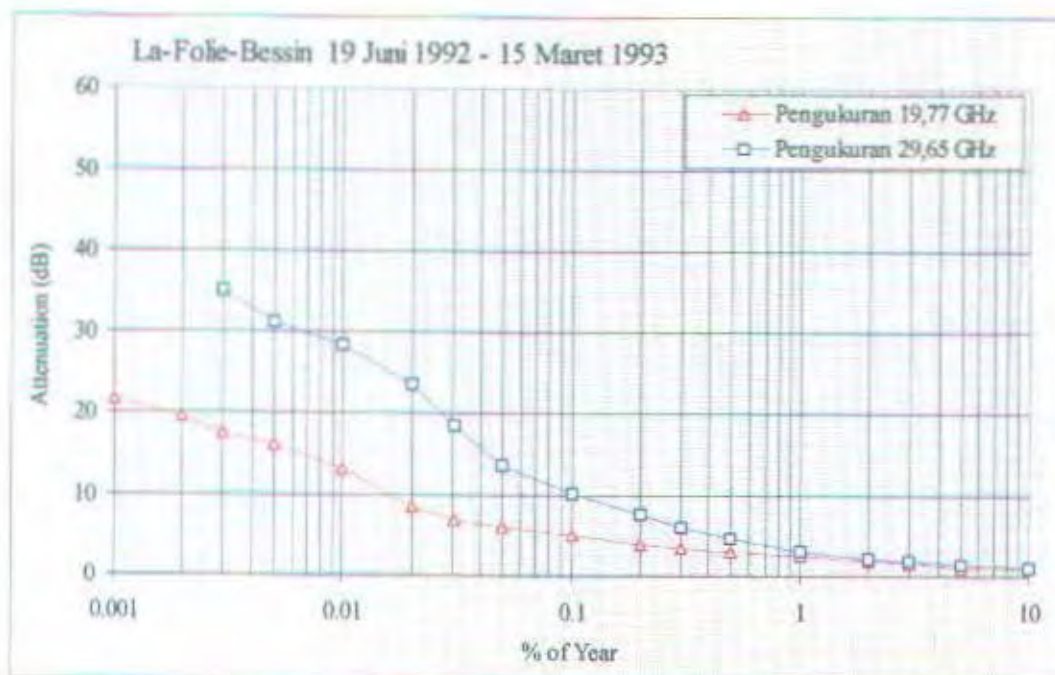




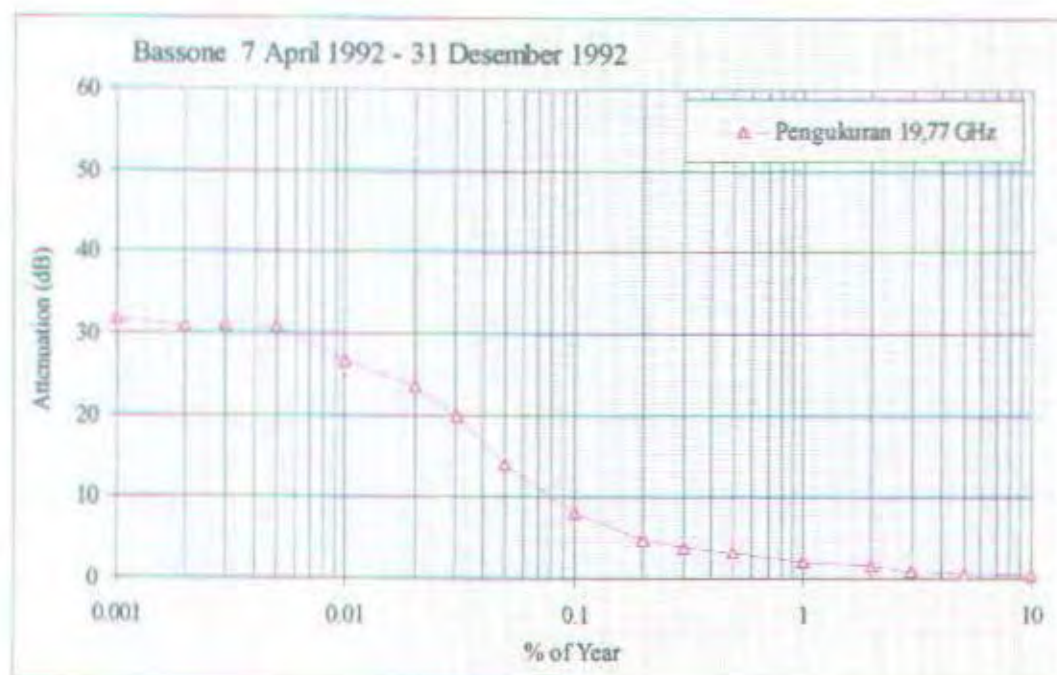
GRAFIK REDAMAN HUJAN DI DARMSTADT



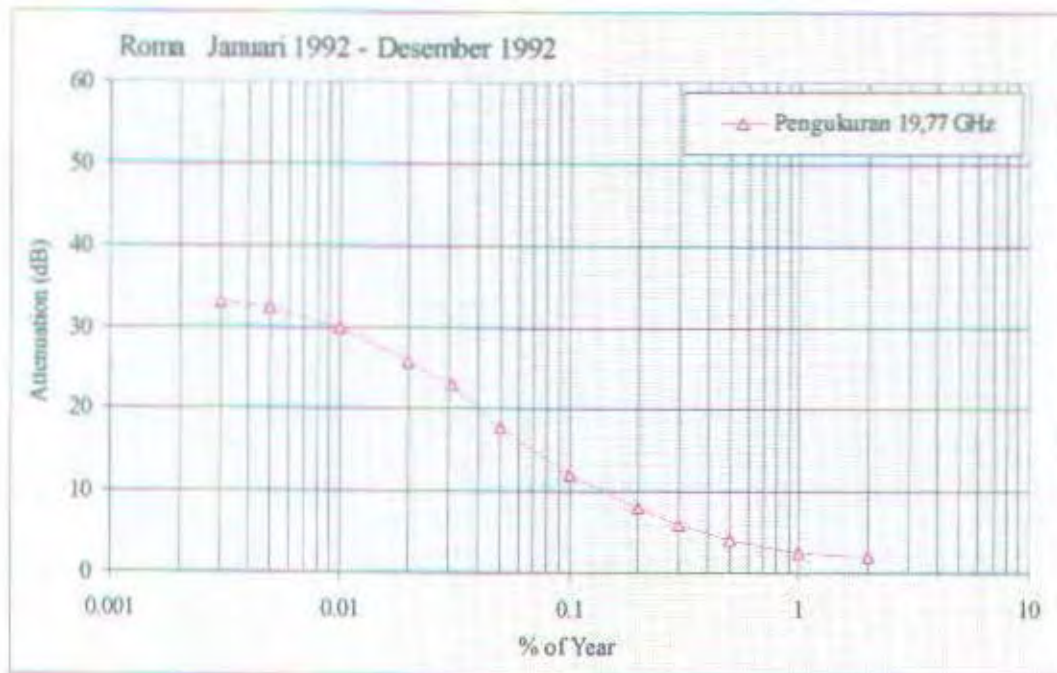
GRAFIK REDAMAN HUJAN DI GOMETZ-LA-VILLE



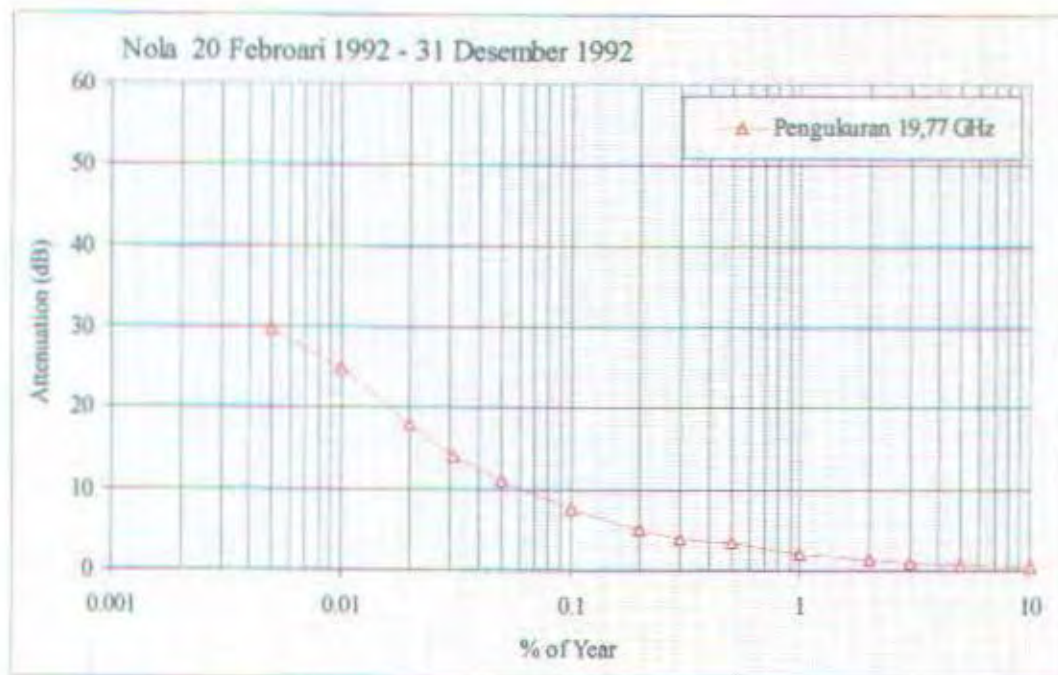
GRAFIK REDAMAN HUJAN DI LA-FOLIE-BESSIN



GRAFIK REDAMAN HUJAN DI BOSSONE



GRAFIK REDAMAN HUJAN DI ROMA



GRAFIK REDAMAN HUJAN DI NOLA



**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO - ITS**

**EL 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS**

Nama Mahasiswa	: I PUTU EKA PUTRA GIRI
Nomor Pokok	: 2293 100 054
Bidang Studi	: Teknik Telekomunikasi
Tugas Diberikan	: September 1997
Dosen Pembimbing	: Ir. Hang Suharto, M.Sc
Judul Tugas Akhir	:

**STUDI MENGENAI HASIL-HASIL PENELITIAN PROPAGASI Ka-BAND  
 DENGAN OLYMPUS**

**Uraian Tugas Akhir.**

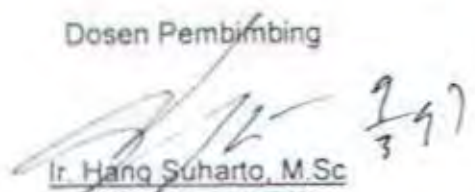
Meningkatnya kebutuhan layanan komunikasi di masa depan, menuntut adanya suatu perubahan ke arah penganekaragaman jenis layanan informasi dan peningkatan kualitas. Hal ini membutuhkan suatu sistem komunikasi yang mampu menyalurkan informasi dalam kapasitas yang besar dengan kecepatan tinggi dan bandwidth yang lebar.

Olympus adalah sebuah satelit telekomunikasi European Space Agency yang diluncurkan 12 juli 1989. Olympus digunakan untuk komunikasi yang terdiri dari empat bagian yaitu untuk pemancar TV(TVB) pada 12 GHz, pada dua buah kanal 27 MHz. Untuk komunikasi (COM) yang mendukung untuk video conference, point to point atau point to multipoint pada frekuensi 30/20 GHz. Untuk penggunaan khusus pada dua buah kanal 18 MHz atau satu pada kanal 36 MHz untuk Ku-band. Untuk paket propagasi yaitu pada frekuensi 12, 20 dan 30 GHz. Ka-band merupakan salah satu jenis pelayanan yang disediakan oleh satelit Olympus, dengan daya 30 W, bandwidth 40 & 700 MHz dan EIRP max sebesar 52,1 dBW. Saat ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai propagasi Ka-band dengan satelit Olympus.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band dengan menggunakan satelit Olympus dengan melihat berbagai penelitian yang telah dilakukan di beberapa negara.

Surabaya, September 1997

Dosen Pembimbing

  
Ir. Hang Suharto, M.Sc  
 NIP. 130 520 753

Mengetahui

Jurusan Teknik Elektro

Ketua,


  
Ir. Teguh Yuwono

NIP. 130 604 244

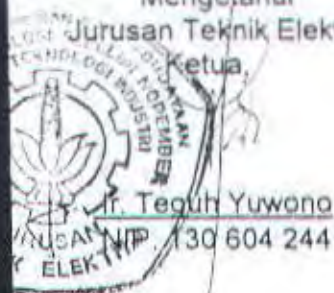
Menyetujui

Bidang Studi Telekomunikasi

Koordinator,

  
Ir. M. Aries Purnomo

NIP. 130 532 040



## USULAN TUGAS AKHIR

A. JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI MENGENAI HASIL-HASIL PENELITIAN PROPAGASI Ka-BAND DENGAN OLYMPUS

B. RUANG LINGKUP :  
- Sistem Komunikasi  
- Sistem Komunikasi Gelombang Mikro  
- Sistem Komunikasi Satelit  
- Transmisi Gelombang Elektromagnetik

C. LATAR BELAKANG : Meningkatnya kemajuan di bidang telekomunikasi dewasa ini menuntut adanya usaha untuk menjadikan semua layanan dan aplikasi menjadi lebih mudah, fleksibel, dan terintegrasi, sehingga dapat dinikmati oleh siapapun, kapanpun, dan dimanapun berada.  
Olympus adalah sebuah satelit telekomunikasi European Space Agency. Ka-band merupakan salah satu pelayanan yang disediakan oleh satelit Olympus. Dimana saat ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai propagasi Ka-band pada Olympus.

D. TUJUAN : Untuk memperoleh informasi mengenai hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan pada propagasi Ka-band dengan menggunakan satelit Olympus.

E. PENELAAHAN STUDI : Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band dan informasi tentang satelit Olympus yang mendukung penelitian tersebut.

F. LANGKAH-LANGKAH :  
1. Pengumpulan referensi  
2. Studi literatur  
3. Pengumpulan data  
3. Analisa dan pembahasan  
4. Penyusunan buku dan penyelesaian

G. RELEVANSI : Dari hasil tugas akhir ini diharapkan dapat dihasilkan informasi yang lengkap tentang hasil-hasil penelitian propagasi Ka-band dengan menggunakan satelit Olympus guna pengembangan teknologi telekomunikasi untuk memenuhi kebutuhan akan permintaan berbagai layanan dan aplikasi yang semakin meningkat.



# H. JADWAL KEGIATAN

KEGIATAN	BULAN					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Studi Literatur						
2. Pengumpulan Data						
3. Pembahasan						
4. Penyusunan Buku						



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

---



Penulis dilahirkan pada tanggal  
4 Juli 1973 di Denpasar sebagai anak  
tunggal

Dari Ayah : I Ketut Sukarsa Giri

Ibu : Ni Ketut Ratnawati

### **Riwayat Pendidikan :**

1. SD Negeri 18 Dangin Puri Denpasar, lulus tahun 1986.
2. SMP Negeri 3 Denpasar, lulus tahun 1989.
3. SMA Negeri 1 Denpasar, lulus tahun 1992.
4. Diterima di Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS melalui jalur UMPTN pada tahun 1993, dengan NRP 2293 100 054 dan mengambil Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.

### **Pengalaman Kemahasiswaan :**

1. Sebagai asisten praktikum Dasar Sistem Komunikasi, tahun 1997.
2. Sebagai asisten praktikum Sistem Komunikasi Lanjutan I, tahun 1997.
3. Sebagai asisten praktikum Sistem Komunikasi Lanjutan II, tahun 1997.
4. Sebagai asisten praktikum Sistem komunikasi untuk STTAL, tahun 1997.
5. Sebagai koordinator praktikum Sistem Komunikasi Lanjut I, tahun 1998.